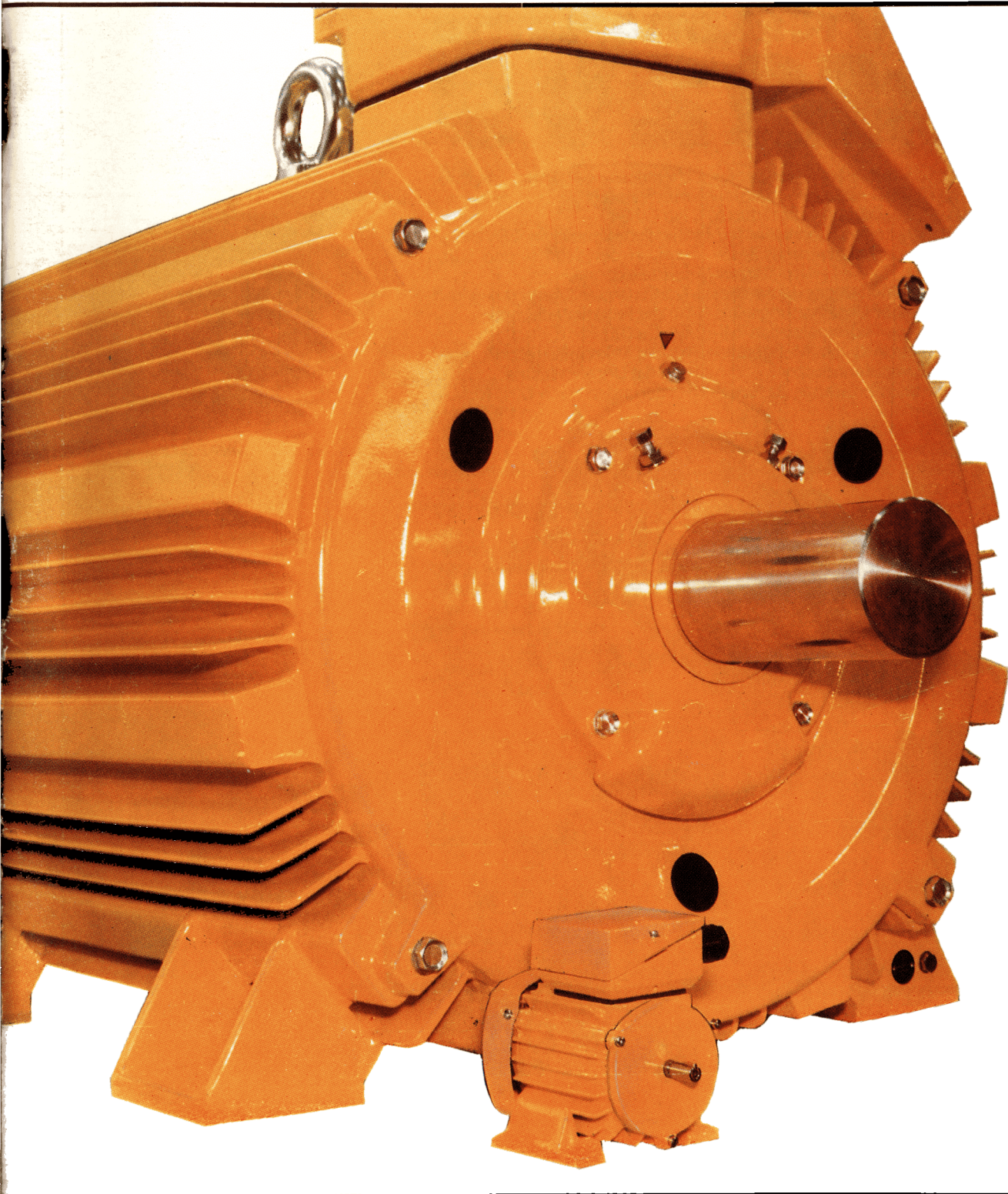
ELEKTRIE 2|89

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN · Postverlagsort für DDR Leipzig · EVP 2,50 Mark · ISSN 0013—5399



VEM

VEM-Elektromaschinen –
Antriebstechnik für die Automatisierung

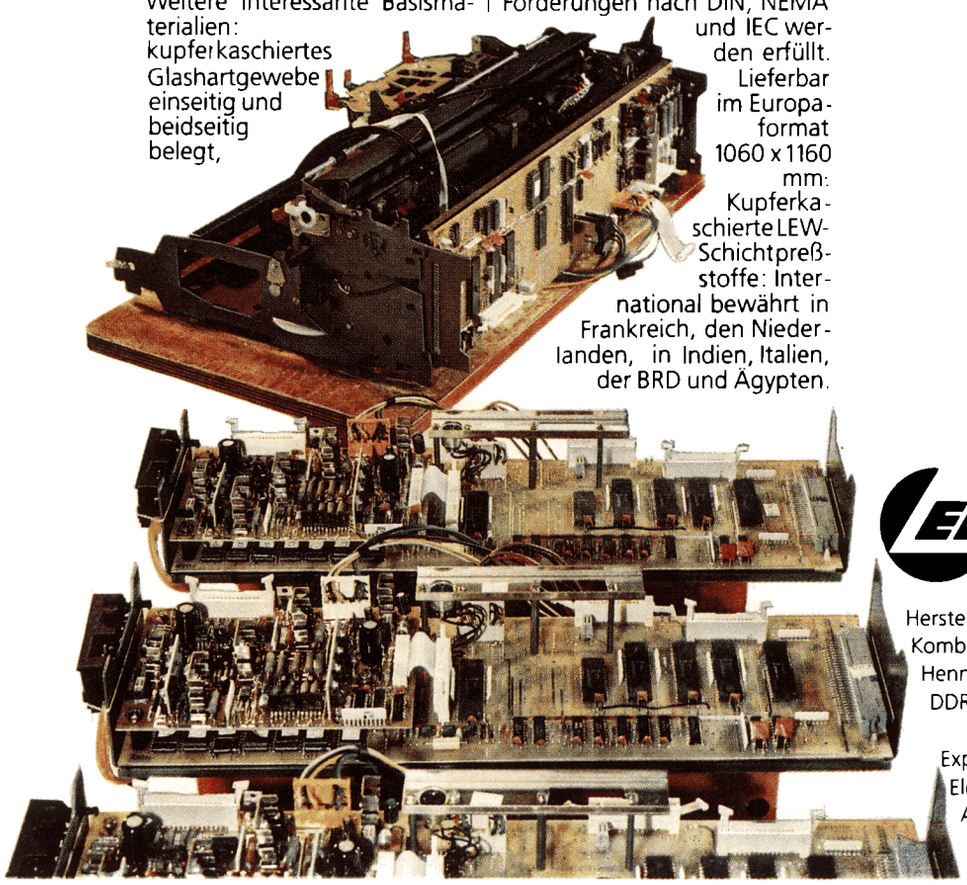
0120223

DIE BRAND-SICHERE BASIS FÜR LEITERPLATTEN TYP FR 2 VO

Kupferkaschiertes Hartpapier Typ FR 2 VO - schwerentflammbar - qualitätsbestätigt durch Underwriter's Laboratories Inc. (USA): ein hochwertiges Basismaterial für die Leiterplattenindustrie. Vielfältiger Einsatzbereich in der Unterhaltungselektronik, der kommerziellen Mikroelektronik, der Meßgeräte- und Computerindustrie.

Weitere interessante Basismaterialien:
kupferkaschiertes Glashartgewebe einseitig und beidseitig belegt,
chemikalienbeständig und thermisch stabil
Typ Cu 047
für den Einsatz in EDV-Anlagen, in der Schiffs- und Luftfahrtelektronik
Typ Cu 040
für die Feinstleitertechnik
Typ Cu 010
für die Mikroleitertechnik, speziell die Uhrenindustrie.

Forderungen nach DIN, NEMA und IEC werden erfüllt. Lieferbar im Europaformat 1060 x 1160 mm: Kupferkaschierte LEW-Schichtpreßstoffe: International bewährt in Frankreich, den Niederlanden, in Indien, Italien, der BRD und Ägypten.



LEW

Hersteller
Kombinat VEB LEW
Hennigsdorf
DDR-1422

Exporteur
Elektrotechnik Export-Import
Alexanderplatz 6
Berlin
DDR-1026

2|89 ELEKTRIE

43. Jahrgang

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift der Elektrotechnik

ISSN 0013-5399

Organ des Fachverbands Elektrotechnik der Kammer der Technik

Die Zeitschrift erhielt die Goldene Ehrenplakette der KDT

Redaktionsbeirat

Vorsitzender:

Prof. Dr. sc. techn. J. Vogel

Mitglieder:

Prof. Dr. sc. techn. S. Altmann · Prof. Dr. sc. techn. H. Böhme · Prof. Dr. sc. techn. Dr. h. c. P.-K. Budig · Dr. sc. techn. G. Burkhard · Dr.-Ing. D. Flügge · Obering. K. Friedel · Prof. Dr. sc. techn. J. Hoffmann · Dipl.-Ing. H. Kabisch · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Lappe · Dr. rer. nat. K. Möbius · Prof. Dr. sc. techn. E. Muschick · Prof. Dr. sc. techn. V. Pfeiler · Prof. Dr.-Ing. e.h. K. Pommer · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Schönfeld · Obering. Dipl.-Ing. N. Wass · Prof. Dr.-Ing. habil. G.Wunsch

Korrespondenten:

Dr.-Ing. Hannella, Ilmenau · Dr.-Ing. W. Jordan, Dresden

Inhalt

Seite

Aktuelle Information 42

Reiche, H.

Beiträge zur Zuverlässigkeit des Elektromotors 43

VEM-Konsultations-Zentren für elektrische Antriebe 44

Fachaufsätze

Fuhr, G.; Hagedorn, R.; Glaser, R.; Gimsa, J.

Dielektrische Motoren 45

Prof. (em.) Dipl.-Ing. Fritz Schultheiß 80 Jahre 50

Conrad, H.

Stand und Tendenzen der Entwicklung von leistungselektronischen Bauelementen 51

Adamski, G.; Kiekbusch, A.; Kusserow, D.

Zur Konzeption eines Hochleistungsverstärkers für elektrodynamische Schwingungserreger 55

Jacobi, G.; Schneider, H.; Hackenberg, H.

Beitrag zur Verarbeitung und Fügetechnik von Stromschienen aus der Leitlegierung AlFeMg-E 58

Beckert, U.; Neuber, W.

Digitales Schlupfmeßgerät für die Antriebstechnik 61

Umschau

Erzeugnisse der Elektroindustrie der DDR auf der Leipziger Frühjahrsmesse 1989 63

Titelbild

Eine wichtige Grundlage für die Zuverlässigkeit von elektrischen Antrieben ist die Langlebigkeit der VEM-Standardmotoren, die als Reihenerzeugnisse mit großem Leistungsbereich u.a. mit einem thermisch hochbeständigen und vielseitig geprüftem Isolationssystem ausgerüstet sind.

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Träger des Ordens Banner der Arbeit

AKTUELLE INFORMATION

Elektrowärme

3. Fachtagung

Zeit: 22. und 23. März 1989
Ort: Suhl
Veranstalter: Bezirksverband Suhl der KDT und die Sektion Elektrotechnik der TH Ilmenau

Inhaltliche Schwerpunkte
- Industrielle Elektrowärmeverfahren
- Rationelle Energieanwendung
- Temperaturmeßtechnik
- Numerische Modellierung des thermischen Verhaltens

Anfragen
Kammer der Technik
Bezirksverband Suhl
Straße der Opfer des Faschismus 29
Suhl, 6000
D. Schulze, Ilmenau EA 3007

Tagungskalender 1989 der WGMA

Industrielle Wägetechnik

2. Fachtagung

Zeit: 7. und 8. März 1989
Ort: Dresden
- Industrielle Wägesysteme
- Wägetechnik zur Qualitätssicherung
- Prozeßspezifische Wägetechnik

Vorstellung des RVS K 1840

Anwendersymposium

Zeit: März
Ort: Leipzig
- Konzeption und Konfiguration der Hardware
- Betriebssysteme SVP 1800 und MUTOS 1800
- Compiler und Standardsoftware
- Einsatzbedingungen
- Stability, robustness, integrity
- Decentralized control and estimation
- Knowledge based [expert] decision-support systems
- Man-LSS-process interaction
- LSS demands on computer architecture

Automatische Bildverarbeitung CAIP '89

3. Internationale Fachtagung

Zeit: 8. bis 10. September 1989
Ort: Leipzig
- Fast signal processing
- Image modelling
- Algorithmus
- AI techniques in image understanding
- Applications
- Implementations

Echtzeitprogrammierung

3. IFAC — Workshop

Zeit: 18. bis 20. Oktober 1989
Ort: Berlin
- Software engineering in real-time programming
- Specifications of real-time software systems
- Languages for real-time programming
- Programming methodologies and environments for real-time systems
- Parallel computers in real-time application
- Expert systems for real-time applications

Automatisierungssysteme

12. Wissenschaftlich-Technische Konferenz

Zeit: 16. und 17. November 1989
Ort: Magdeburg
- Automatisierungssysteme
- Kommunikationssysteme
- LAN und Feldbussysteme und Möglichkeiten ihrer Kombination
- Neue gerätetechnische Lösungen für Automatisierungsanlagen auf der Basis von 16-bit-Systemen in Kopplung mit technischen Prozessen
- ASIC — Anwendung in der Automatisierungstechnik

Grundlagen der Modellierung und Simulationstechnik

18. Jahrestagung
- Modellierung und Simulation in der Informatik
- Modellierung und Simulation in der Ökonomie
- Methoden der Modellierung kontinuierlicher Systeme
- Grundlagen der Modellierung und Applikation
- Rechentechnische Unterstützung für Entscheidungshilfen

Analysenmeßtechnik

Jahrestagung der WGMA

Zeit: 19. und 20. Dezember 1989
Ort: Dresden

Anfragen
Kammer der Technik
Präsidium — WGMA
PSF 1315
Berlin, 1086
K.-D. Müller, Berlin EA 3003

Mikroelektronische Steuerungen mittleren und größeren Umfanges

Fachtagung

Zeit: 23. Mai 1989
Ort: Dresden, Neues Rathaus
Veranstalter: Arbeitsausschuß Steuerungs- und Regelungstechnik Dresden

Inhaltliche Schwerpunkte
- Speicherprogrammierbare Steuerungen, Rückblick, Stand, Trends
- Modulares Automatisierungssystem S 4000
- Hinweise zum Einsatz des Systems S 2000-S
- Verbundsystem aus MRS 700 und 16-bit-Leitrechner für eine Transport- und Lagerautomatisierung
- Anwendung modularer Grundbaugruppen des Systems 7000
- Industriecomputer — neue Wege in der Automatisierungstechnik
- Anwendung des Industriecomputers ICA 710.20
- Weiterentwicklung des Prozeßleitsystems audatec mit 16-bit-Mikrorechnern
- P 8000 compact — Weiterentwicklung des Programmier- und Entwicklungssystems P 8000

Anfragen
VEB Bergmann-Borsig
TVE 2.2 — Koll. *Schwabe* (Tel. 71 36 31)
Wasastraße 50
Radebeul, 8122
E. Habiger, Dresden EA 3016

Computerintegrierte Systeme für die industrielle Elektroenergietechnik

Wissenschaftliche Konferenz 1989 der Sektion Elektroenergieanlagen an der Technischen Hochschule Leipzig

Zeit: 10. bis 12. Oktober 1989
Ort: TH Leipzig
Veranstalter: TH Leipzig. Sektion Elektroenergieanlagen

Inhaltliche Schwerpunkte
- Elektrosicherheit und Zuverlässigkeit
  - Qualitätsbewertung
  - Quantitative und qualitative Bewertung — mathematische Modellierung
  - Sicherheitstechnische Mittel (Spannungswarngeräte für ortsveränderliche Arbeitsmaschinen)
- Rechnerintegrierte Elektroantriebssysteme
  - Hardware und Software für Steuerungen und Regelungen elektrischer Antriebe
  - Rechnerunterstützte Modellierung und Optimierung der Steuerung und Regelung elektrischer Antriebssysteme
  - Struktur- und Parameteridentifikation bei elektrischen Antriebssystemen
- Konstruktion und Herstellung von Elektroenergieanlagen
  - Rechnerunterstützte Prozesse bei der Konstruktion und Herstellung von Elektroenergieanlagen
  - Aspekte der perspektivischen Gestaltung von Elektroenergieanlagen und ihrer Betriebsmittel
  - Prüf- und Meßtechnik im Elektroenergieanlagenbau
  - Theoretische Erkenntnisse und praktische Anwendungsmöglichkeiten der elektrischen Verbindungs- und Anschlußtechnik
- Entwurf und Betrieb von Netzen in Industrie und Kraftwerken
  - Entwurf von IEES — Abnehmeranalyse, Stabilisierung
  - Betriebsvorgänge in IEES
- CAD- und Prozeßleittechnik — Software für Elektroenergieanlagen
  - Expertensystementwicklung, Arbeitsweisen im Expertensystemmodus, Aufbei und Pflege von Wissensbasen, Expertensysteme
  - Konzeption für computerintegrierte Systeme, strukturierungskomplexer Prozesse, Objekt-Produktionsmodelle für EEA, Prozeßmodelle für CAD-Beschreibungs- und Entwurfssprachen
  - Softwareentwurf für Prozeßleittechniksysteme, Software für Warten und prozeßnahe Ebenen, Analyse und Simulation Prozeßleittechnik — Software
  - Applikation im Projektierungsbereich und für die Prozeßleittechnik von Elektroenergieanlagen

Anfragen

Technische Hochschule Leipzig
Sektion Elektroenergieanlagen (WK '89)
Postfach 66
Leipzig
7030
S. Altmann, Leipzig EA 2991

Beiträge zur Zuverlässigkeit des Elektromotors

Von

Dr.-Ing. habil. Hans Reiche

VEB Kombinat Elektromaschinenbau

Die Zuverlässigkeit eines Elektromotors ist eine ganz bedeutende Eigenschaft, die heute beim hohen Stand der Standardisierung der Erzeugnisse und deren Leistungsparameter im Wettbewerb eine große Rolle spielt. Deshalb wird in der DDR die Zuverlässigkeit aller Erzeugnisse, im speziellen auch des Elektromotors, durch staatliche Maßnahmen gewährleistet. Die Selbstverpflichtungen der Erzeugnishersteller der DDR zur Zuverlässigkeit sind dementsprechend bindend und in der Welt kaum übertroffen. Das läßt sich am besten an der Angabe der wissenschaftlich begründeten und umfassenden Parameter erkennen, die sich von einer vagen Lebensdauerangabe deutlich abhebt.

Aber nicht nur der Hersteller der elektrischen Maschine ist gefordert, auch der Anwender in der DDR soll im Rahmen der Datenrückmeldung über Ausfälle am Prozeß der Zuverlässigkeitsarbeit teilnehmen.

Somit scheint der sorgsame Umgang mit dem Elektromotor im volkswirtschaftlichen Sinn geregelt zu sein. Und somit können wir Elektromotorenhersteller auch im internationalen Vergleich auf die besondere Qualität unserer Erzeugnisse verweisen, die eben in der Definition und Gewährleistungen zusätzlicher Zuverlässigkeitskennwerte liegt.

Doch der internationale Vergleich trügt hinsichtlich der Einschätzung der Zuverlässigkeitsarbeit in der DDR. In unserer Wirtschaft streben Hersteller und Anwender gemeinsam das Minimum des volkswirtschaftlichen Aufwands an. Gerade der heute nach wie vor steigende Bedarf an Elektromotoren, Erzeugnisse mit viel Walzstahl und Kupfer, läßt uns dieses Prinzip bewußt werden. Wir streben nicht schlechthin nach Umsatzsteigerung, wir versuchen, dem steigenden Bedarf an Elektromotoren und damit kostbaren Rohstoffen durch zusätzliche Maßnahmen bei der Realisierung von elektrischen Antrieben zu begegnen. Und eben deshalb ist es auch notwendig, die Einordnung der Zuverlässigkeit des Elektromotors in einer sozialistischen Wirtschaft zu überdenken.

Obwohl die Zuverlässigkeit des Motors den kontinuierlichen Betrieb suggeriert, ist doch die Definition der Zuverlässigkeit an den Ausfall gebunden. Sie korrespondiert mit der schadensbedingten Instandhaltung, die eben dann einsetzt, wenn der Motor oder seine für seine Funktion wesentlichen Bauteile ausfallen. Wenn der Anwender mit solchen Instandhaltungsmethoden arbeitet, und dies tut der überwiegende Teil, soweit hat auch die Zuverlässigkeit ihre Bedeutung für die Ökonomie der Antriebstechnik. Auch für die vorbeugende Instandhaltung ist der Effekt hoher Zuverlässigkeit auf die Dauer und bei gewissenhafter Verarbeitung des Ausfallverhaltens der Motoren von unmittelbarem Wert. Das alles bedeutet schon, eine große Zuverlässigkeit sichert ein Minimum an Instandhaltungs- und Reparaturkosten.

In zunehmendem Maße aber wird bei wichtigen Antrieben der Ausfall einfach nicht mehr geduldet, weil die Verluste bei einem unerwarteten Ausfall immer größer werden. Der Wert des kontinuierlich ablaufenden Prozesses in Verarbeitungsanlagen steigt mit deren Größe. Solche Anwender gehen zur zustandsabhängigen Instandhaltung über, sie beobachten den Elektromotor wie auch andere Antriebskomponenten, um aus einer Schadensanbahnung rechtzeitig auf einen Ausfall schließen zu können. Es ist wohl bereits international erkannt, daß diese Strategie der Instandhaltung einerseits die größte Sicherheit für die Prozesse als auch andererseits das wirkliche Minimum des Gesamtaufwands mit sich bringt.

Das Interesse der Anwender äußert sich in Aufwendungen für die Überwachungstechnik. Das ist der Beitrag des Anwenders zur Zuverlässigkeit, für die sich folgerichtig neben der herstellerorientierten die anwenderorientierte Betrachtungsweise immer stärker entwickeln wird. Aus diesem Interesse des Anwenders entwickelt sich aber auch die Notwendigkeit, die Projektierung des elektrischen Antriebs der Instandhaltungsstrategie anzupassen. Wenn eine gewissenhaftere Auslegung des Antriebs dabei zu einer höheren Ausnutzung der Nennleistung des Elektromotors geführt hat, haben sich Anwender- und Herstellerinteresse mit volkswirtschaftlicher Zielstellung getroffen.

Für die Zukunft kann man eine größere Aktivität des Anwenders für die optimale Auslegung zuverlässiger Antriebe voraussetzen. Der Hersteller der Elektromotoren wird diese Aktivitäten unterstützen, indem er

- Diagnosetechnik in Gestalt intelligenter Sensoren bereitstellt
- den antriebsgerechten Einsatz der Antriebskomponenten durch Bereitstellung von Software und durch eine weitere wissenschaftliche Durchdringung des Antriebsproblems sowie die Bereitstellung neuer, dafür relevanter Eigenschaften der Motoren unterstützt
- neben der Garantie der Zuverlässigkeitswerte für allgemeine Anwendungen in bewährter Form auch Erkenntnisse über den Alterungsprozeß einer elektrischen Maschine beisteuert.

Zuverlässigkeit des Motors ist also nicht nur allein Angelegenheit des Herstellers, der Fortschritt der elektrischen Antriebstechnik entsteht mehr denn je aus guter Zusammenarbeit mit dem Anwender. Der VEB Kombinat Elektromaschinenbau will weiterhin ein zuverlässiger Partner in der Volkswirtschaft sein. Davon zeugt einerseits das neue Messeangebot an Software für drehzahlvariable Drehstromantriebe als auch andererseits der bei dieser Gelegenheit gewährte Einblick in die Nutzung von CIM-Systemen für eine zuverlässige, flexible Fertigung von Elektromotoren. EA 2984

VEM-Konsultationszentren für elektrische Antriebe

Eine der vier Forschungsrichtungen im VEB Kombinat Elektromaschinenbau [1] ist „Der Elektromotor als Antriebskomponente". Dieser Forschungsschwerpunkt trägt insbesondere dem Trend der Entwicklung zur drehzahlvariablen Drehstromantriebstechnik Rechnung. Dieser Trend hat mehrere Aspekte:

— Unter der Bedingung der Wartungsarmut und rauher Umgebung werden erstmals drehzahlvariable Drehstromantriebe mit ihrer Wirkung auf die Güte der angetriebenen Prozesse, auf deren Materialökonomie und auf die Energieökonomie möglich. Hauptkomponenten sind der Asynchronmotor und der Umrichter für die Frequenzstellung. In zunehmendem Maße werden an solche Antriebe höhere Ansprüche an Regelbarkeit und Geräuscharmut gestellt. Das wiederum bedingt Forderungen an die Eigenschaften des Motors, dessen universelle Einsetzbarkeit auch für drehzahlstarre Antriebe und dessen hohe Produktivität bei der Herstellung als Standarderzeugnis gewährleistet bleiben muß.
— Das Einsatzgebiet der drehzahlvariablen Gleichstromantriebe wird relativ zur Drehstromantriebstechnik kleiner. Eine zunehmende Anzahl von Anlagenherstellern und -betreibern duldet keine Motoren mit Gleitkontakten mehr, um alle Verschleißelemente drastisch zu reduzieren. Außerdem ist der Drehstromantrieb kompakter und geräuschärmer. Diese besonders im Werkzeug- und Verarbeitungsmaschinenbau wirksamen Motive erfordern allerdings drehzahlvariable Antriebe mit dynamischen Eigenschaften, die denen des Gleichstromantriebs vergleichbar sind. Das bedingt wiederum neben dem Einsatz einer anspruchsvollen Regelelektronik eine weitgehende Modifikation des Motors.

Neben den sich aus der Einführung der drehzahlvariablen Drehstromtechnik ableitenden Forschungsaufgaben besteht aber eine weitere Aufgabe darin, den Einsatz der Standardkomponenten eines elektrischen Antriebs optimal den Antriebsproblemen anzupassen. Durch eine Qualifizierung der Antriebsprojektierung soll die noch heute festzustellende relativ geringe materialökonomische Ausnutzung der Komponenten, speziell der Motoren, angehoben werden. Dazu gehört eine bessere mathematische Durchdringung des gesamten Antriebssystems, die erst heute mit Hilfe der dezentralen Rechentechnik (Personalcomputer) in großer Breite durchgesetzt werden kann.

Um all diesen Aufgaben im Interesse aller Partner des VEB Kombinat Elektromaschinenbau in der Volkswirtschaft gerecht werden zu können, werden innerhalb der Forschungsrichtung „Der Elektromotor als Antriebskomponente" des Kombinats generell folgende Aufgaben gelöst:

— Analyse der Bedürfnisse der Anwenderbereiche nach Antriebskomponenten und kompletten Antrieben
— Erarbeitung von Lösungsvorschlägen für spezielle Antriebsprobleme einschließlich der Modifikation von Antriebskomponenten. Erarbeitung von Vorschlägen für die rationelle Lösung unterschiedlicher Antriebsprobleme durch Universalbausteine
— Erarbeitung von Software zum antriebsgerechten Einsatz von Antriebskomponenten
— Simulation von Antriebssystemen
— umrichtergerechte Ausführung von Elektromotoren einschließlich der Konstruktion hochtouriger Motoren.

An der Lösung dieser Aufgaben sind im Auftrag des VEB Kombinat Elektromaschinenbau vor allem Forschungseinrichtungen in Karl-Marx-Stadt, in Magdeburg und in Freiberg beteiligt. Im Ergebnis einer im Dezember 1988 durchgeführten Forschungsklausur erklärten sich diese Partner der Wissenschaftskooperation bereit, einerseits im Interesse des VEB Kombinat Elektromaschinenbau für das Auffinden der rationellsten Formen der Antriebslösungen auf der Basis der entsprechenden Standarderzeugnisreihen und andererseits im Interesse der Anwenderzweige für die sachkundige Beratung zur Gestaltung, Beschaffung oder Produktion der elektrischen Antriebstechnik wirksam zu werden und einen Teil ihrer Forschungskapazität zur Verfügung zu stellen. Der VEB Kombinat Elektromaschinenbau wird seine Kooperationspartner bei der Ausübung dieser speziellen Konsultationsfunktion materiell unterstützen.

Die Arbeitsteilung der drei Forschungsstellen ist nach Anwenderbereichen geordnet, die diesen Forschungsstellen territorial nahestehen. Obwohl die Forschungsstellen untereinander auf jeweils ausgewählte Aufgaben der Forschungsrichtung spezialisiert sind, stehen sie den Anwendern zunächst für alle Fragen zur Verfügung, vermitteln dann nach Bedarf an die spezialisierte Forschungseinrichtung.

Eine Übersicht der Anwenderbereiche und die Anschriften der Konsultationszentren befinden sich auf der 3. Umschlagseite.

H. Reiche, Dresden EA 2985

Neuer Generaldirektor des VEB Kombinat Elektromaschinenbau

Der Minister für Elektrotechnik und Elektronik, *Felix Meier*, hat mit Wirkung vom 1. Dezember 1988

Dipl.-Ing. *Heiner Rubarth*

zum Generaldirektor des VEB Kombinat Elektromaschinenbau berufen.

Die Kommission für Öffentlichkeitsarbeit des Fachverbandes Elektrotechnik der Kammer der Technik und die Redaktion ELEKTRIE beglückwünschen den neuen Leiter dieses für die Volkswirtschaft wichtigen Zweigs, wünschen ihm Erfolg bei der Lösung seiner Aufgaben und bieten ihre Unterstützung an.

H. Reiche, Dresden EA 2986

Motorenauswahl für drehzahlvariable Drehstromstandardantriebe

Erstmals wird auf der Leipziger Frühjahrsmesse 1989 die Softwarekomponente VEM Prodrive U vorgestellt, die ein wichtiges Hilfsmittel für die Projektierung drehzahlvariabler Drehstromantriebe ist. Der VEB Kombinat Elektromaschinenbau bietet auf diese auch im internationalen Rahmen bemerkenswerte Weise seine Drehstromstandardmotoren und die Umrichter seiner Produktion an. Anläßlich der Messe wird durch einen Vortrag dieses neue Projektierungsmittel den Fachleuten aus aller Welt erläutert werden.

Voraussichtlich im Heft 6/1989 dieser Fachzeitschrift wird ein ausführlicher Aufsatz zu dieser interessanten Thematik erscheinen.

H. Reiche, Dresden EA 2983

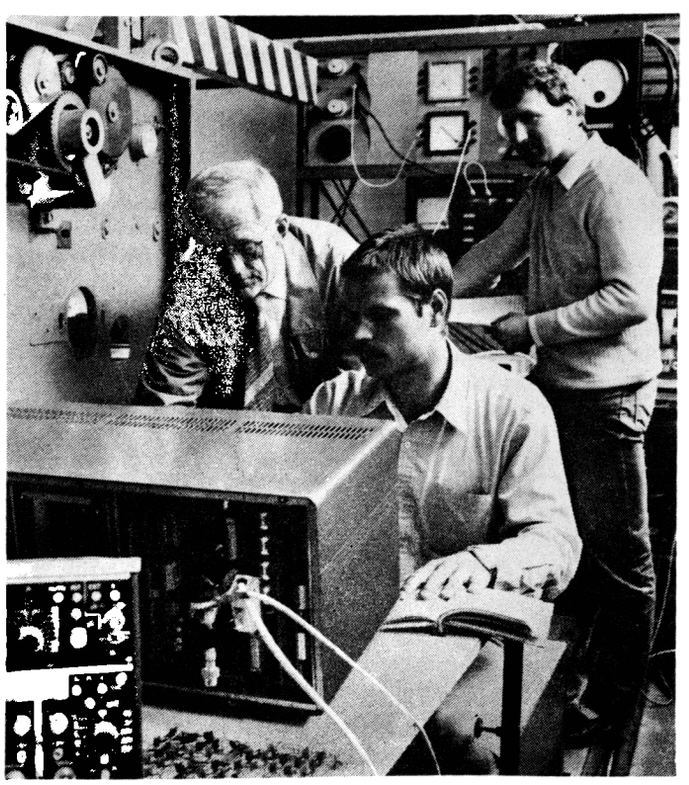


Bild
Das VEM-Konsultationszentrum für elektrische Antriebe des Werkzeug- und Verarbeitungsmaschinenbaus arbeitet unter der Leitung des bewährten Antriebsfachmanns Prof. Dr. sc. techn. Dr. h. c. *P.-K. Budig*

Dielektrische Motoren

G. Fuhr; R. Hagedorn; R. Glaser; J. Gimsa; Berlin

Verwendete Formelzeichen

$\vec{M}$	Drehmoment
$\vec{\vec{T}}$	Maxwell-Tensor
$\vec{r}$	Radiusvektor
s	Fläche
ε_e	rel. externe DK
ε_i	rel. interne DK
$\vec{n}$	Normalenvektor
$\vec{E}$	Feldstärke
ω	Kreisfrequenz des Feldes
ω_k	Winkelgeschwindigkeit des Körpers
ω_c	charakteristische Kreisfrequenz
G_e	spez. externe Leitfähigkeit
G_i	spez. interne Leitfähigkeit
H	Zylinderhöhe
$\vec{M}_F$	Reibungsmoment
η	Viskosität
E_c	kritische Feldstärke
$\omega_{K\infty}$	Winkelgeschwindigkeit des Körpers bei $t \to \infty$
P_{el}	elektrische Leistung
U	Spannung
I	Strom
τ_a	Anlaufzeitkonstante
ϱ	Dichte
ε_{s1}	Dielektrizitätskonstante der Schale 1
⋮	
ε_{s3}	Dielektrizitätskonstante der Schale 3
$G_{s1}\ldots$	entsprechende Leitfähigkeiten

Ein neues Verfahren zur Charakterisierung der passiven elektrischen Eigenschaften pflanzlicher und tierischer Zellen beruht darauf, einzelne Zellen rotierenden elektrischen Feldern unterschiedlicher Frequenz (einige Hz bis zu 50 MHz) und Amplitude auszusetzen [15]. In Abhängigkeit von den elektrischen Eigenschaften der Zellen beginnen diese bei bestimmten Frequenzen des Drehfeldes selbst zu rotieren, wenn auch auf Grund der Reibung der Umgebungsflüssigkeit wesentlich langsamer als der Feldvektor selbst. Diese Meßmethode — es hat sich der Begriff „Elektrorotation" eingebürgert — wurde Anfang der 80er Jahre auf dem Gebiet der Zellbiologie eingeführt. Sie ermöglicht die Unterscheidung von Zellen nach ihrem physiologischen Zustand, den Nachweis von Pharmakawirkungen und verschiedene medizinisch-diagnostische Anwendungen [15] [16] [28].

Die Auswertung der Meßdaten erfolgt nach einfachen Modellen. Sie basieren auf Arbeiten physikalischen und technischen Inhalts, die sich mit Rotationsphänomenen dielektrischer Körper befassen [1] bis [12] [20] [21]. Dort wird der Begriff des „dielektrischen Motors" benutzt und vom Prinzip des allgemein bekannten Induktionsmotors abgegrenzt.

Im folgenden Abschnitt soll darauf genauer eingegangen werden. Abgesehen von der immer breiter werdenden biologisch-medizinischen Anwendung dieses Prinzips zeigte sich, daß bisher kaum eine technische Nutzung beschrieben wurde.

Das schon 1881 von *Heinrich Hertz* behandelte Grundprinzip wurde im Laufe der Zeit vergessen und sowohl auf technischem [6] [8], chemischem [17] als auch biologischem Gebiet [15] „wiederentdeckt", wobei den meisten Verfassern die Arbeiten früherer Autoren unbekannt waren.

Dr. sc. *Günter Fuhr*, Dr. rer. nat. *Rolf Hagedorn*, Prof. Dr. habil. *Roland Glaser*, Dr. rer. nat. *Jahn Gimsa*, Humboldt-Universität zu Berlin, Sektion Biologie, Invalidenstr. 42, Berlin, 1040

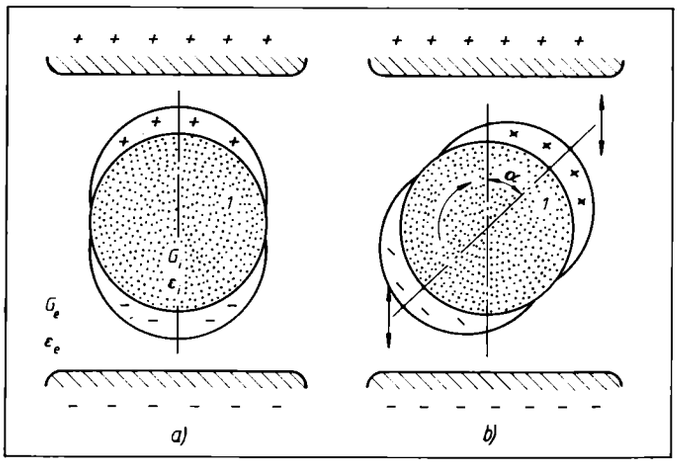


Bild 1. Prinzip eines dielektrischen Motors im elektrostatischen Feld. $\varepsilon_{i,e}$ Dielektrizitätskonstante des Festkörpers [Rotor (1)] sowie des Umgebungsmediums [Flüssigkeit oder Gas (e)]; $G_{i,e}$ entsprechende Leitfähigkeiten

1. Grundprinzip dielektrischer Motoren

Bevor näher auf die historischen Aspekte und spezielle Motorvarianten eingegangen wird, soll an einem einfachen Beispiel das Prinzip eines dielektrischen Motors beschrieben werden:

Bringt man zwischen zwei Elektroden ein gasförmiges oder flüssiges Medium geringer Leitfähigkeit (Wasser, Alkohol, Luft usw.) und setzt in dieses Medium einen dielektrischen Festkörper, so konzentrieren sich im konstanten elektrischen Feld an der Grenzfläche der Dielektrika Polarisationsladungen (Bild 1a). Die Polarität der induzierten Ladungssammlungen an der Grenzfläche der Dielektrika hängt von der Leitfähigkeit und der Dielektrizitätskonstante des Festkörpers in Relation zum Umgebungsmedium ab. Ist die externe Leitfähigkeit beispielsweise größer als die des Festkörpers, so orientieren sich die positiven Nettoladungen zur Anode, die negativen zur Kathode. Bei umgekehrter Kombination beider Leitfähigkeiten ergibt sich das inverse Bild, das hier jedoch nicht weiter interessiert, da aus dieser Konstellation kein Drehmoment resultiert.

Schon aus der Anordnung der Ladungsansammlungen zur Elektrode gleicher Polarität wird deutlich, daß dieser Zustand nicht stabil sein kann. Dreht man nun den Festkörper kurzzeitig in eine der beiden Drehrichtungen an, also um eine Achse senkrecht zum Feldlinienverlauf, so werden die Polarisationsladungen an der Grenzfläche mitgenommen, da sie sich auf Grund ihrer eingeschränkten Beweglichkeit nicht augenblicklich zerstreuen können (Bild 1b). Die die Schwerpunkte der Ladungsansammlung verbindende Achse ist folglich um den Winkel α zur Feldlinienrichtung verschoben, woraus ein Drehmoment resultiert. Gleichzeitig werden in Feldrichtung neue Polarisationsladungen herausgebildet, die vom rotierenden Körper mitgenommen werden, während sich die verschobenen Ladungsansammlungen entsprechend einer Zeitkonstante auflösen. Nach einiger Zeit stellt sich ein Gleichgewicht zwischen beiden Prozessen ein, so daß die Ladungsansammlungen ständig um einen konstanten Winkel zur Feldrichtung verschoben sind und ein permanentes Drehmoment den Körper so lange beschleunigt, bis das antreibende Drehmoment dem Reibungsmoment des Körpers in der Umgebungslösung entspricht.

Die Ladungsansammlungen an der Grenzfläche der Dielektrika stammen unter den genannten Bedingungen aus dem Umgebungsmedium (z.B. Ionen, polare Moleküle). Sie übertragen das über das elektrische Feld erzeugte Drehmoment über Reibungskräfte in der Flüssigkeitsschicht direkt an die Oberfläche des Festkörpers, so daß dieser in Rotation versetzt wird. Auf Grund der geringen Leitfähigkeit der Dielektrika ist der Stromfluß durch das System und folglich auch das nutzbare Drehmoment des Rotors sehr gering. Die Geschwindigkeit des Rotors ist von der Relaxationszeitkonstante des Polarisationsprozesses abhängig, infolgedessen kann die Drehgeschwindigkeit empfindlich über die elektrischen Eigenschaften der Außenlösung sowie über die Feldstärke geregelt werden. Entsprechende Motoren sind extreme Langsamläufer (wenige Umdrehungen je Minute), können jedoch bei Feldstärken von 30 kV/m mehr als 1000 U/min erreichen [8] bis [10] [12].

2. Historische Entwicklung

Das Phänomen der Ladungsrelaxation an Dielektrika und damit zusammenhängender Rotationserscheinungen wurde, wie eingangs erwähnt, zuerst von *Heinrich Hertz* (1881) im Zusammenhang mit Feldwirkungen auf metallische Körper berechnet. 1896 veröffentlichte *Quincke* umfangreiches Material zur Rotation verschiedener Kristalle und anderer Dielektrika zwischen zwei Elektroden. Die Versuchsbedingungen waren jedoch sehr verwickelt und die Interpretation nicht korrekt. Die Arbeit rief schon 1896/97 den Widerspruch von *Boltzmann* und *Heydweiller* hervor. Die Berechnung des Drehmomentes isotroper dielektrischer Kugeln findet sich bei *Heydweiller* (1899), *v. Schweidler* (1897) und *Lampa* (1906). Messungen des Dipolmomentes von Flüssigkeiten und deren Rotationsverhalten auch auf Grund ihrer Leitfähigkeit in rotierenden Feldern untersuchten *Born* (1920) und *Lertes* (1921). 1927 beschrieb *Richardson* das Rotationsverhalten verschiedener Festkörperkugeln im statischen Feld. *Vedy* (1931) behandelte die Relaxation der Ladungen auf rotierenden Kugeln und ihre, die Rotationsgeschwindigkeit begrenzende Wirkung. Mit diesen Arbeiten brechen die Publikationen auf physikalischem Gebiet ab und sie wurden erst mit dem Jahre 1984 beginnend wieder berücksichtigt.

Von technischer Seite beschäftigte sich *Sumoto* (1955) mit diesem Motorproblem, indem er die Strom-Rotationsbeziehungen und Temperatureinflüsse untersuchte. Im Vordergrund stand die Entwicklung äußerst einfacher dielektrischer Motoren. Auf chemischem Gebiet experimentierte und rechnete *Funakoshi* (1968) mit rotierenden Feldern, indem er dieses Verfahren mit Methoden der optischen Spektroskopie kombinierte, um Dipolmomente von Molekülen zu bestimmen.

Rotationseffekte biologischer Zellen in alternierenden Feldern (Dielektrophoresekammern) wurden bereits Anfang der 60er Jahre (*Teixeira-Pinto*, u.a., *Füredi* und *Ohad*) und in den 70er Jahren dieses Jahrhunderts beobachteten (*Pohl* und *Crane*, *Zimmermann* u.a.) und von *Holzapfel* (1982) auf eine physikalische Grundlage gestellt. 1982 führten dann *Arnold* und *Zimmermann* rotierende Felder auf dem Gebiet der Biologie zur Untersuchung einzelner Zellen ein. Allen diesen Autoren waren die vorangegangenen physikalischen Arbeiten unbekannt oder wurden zumindest nicht berücksichtigt. Im Jahre 1983 stießen wir auf die genannten historischen Arbeiten. Unabhängig davon veröffentlichte *Jones* (1984) eine kurze historische Übersicht zur Entwicklung dielektrischer Motoren im konstanten Feld und benutzte den schon vorher aufgetauchten Begriff „Quincke-Rotation" zur Beschreibung dieses Rotationseffektes.

Experimentell wurde bislang ausschließlich mit dielektrischen Rotoren im elektrostatischen Feld gearbeitet. Wie noch gezeigt wird, ist auch mit Rotationserscheinungen im alternierenden und rotierenden Feldern zu rechnen.

3. Berechnung des Rotationsverhaltens einfacher dielektrischer Motoren

Da die Berechnung des Drehmoments homogener dielektrischer Körper bereits ausführlich beschrieben wurde [16] [22] [27], sei hier nur der Lösungsweg skizziert und die Endformel angegeben.

Wie bekannt (*Stretton; Landau* und *Lifshitz*), läßt sich das Drehmoment ($\vec{M}$), das auf einen Körper in einem beliebigen elektrischen Feld wirkt, über den Maxwellschen Tensor ($\vec{\vec{T}}$) ausdrücken:

$$\vec{M} = \oint_s (\vec{r} \times \vec{\vec{T}})\, \mathrm{d}s, \tag{1}$$

wobei ($\vec{r}$) der Radiusvektor ist und die geschlossene Integrationsfläche (s) an der Oberfläche des Rotors liegt.

Der Maxwellsche Tensor kann mit Hilfe der Feldstärke ($\vec{E}$) und des Normalenvektors ($\vec{n}$) wie folgt geschrieben werden!

$$\vec{\vec{T}} = \varepsilon_0\, \varepsilon_e\, [(\vec{E}\,\vec{n})\,\vec{E} - (\vec{E}^2/2)\,\vec{n}]. \tag{2}$$

ε_0 8,854 · 10^{-12} F/m

ε relative Dielektrizitätskonstante des Umgebungsmediums

$\vec{n}$ Normalenvektor auf der Fläche s.

Da die Berechnung des Drehmoments und der Winkelgeschwindigkeit der Rotoren in konstanten und rotierenden Feldern sehr ähnlich ist, kann das auf einen kugelförmigen Rotor wirkende Drehmoment folgendermaßen zusammengefaßt werden:

$$M = A\,B\,E^2 \frac{(\omega - \omega_K)/\omega_c}{[1 + ((\omega - \omega_K)/\omega_c)^2]}, \tag{3}$$

wobei im Fall eines kugelförmigen Rotors

$A = 12\,\pi\,R^3$ (Faktor, die Geometrie berücksichtigend)

$$B = \frac{(G_i\,\varepsilon_e - G_e\,\varepsilon_i)\,\varepsilon_0\,\varepsilon_e}{(\varepsilon_i + 2\,\varepsilon_e)\,(G_i + 2\,G_e)}$$

[Faktor, die elektrischen Eigenschaften der Dielektrika (Rotor/Umgebungslösung) berücksichtigend]

$\omega_c = (G_i + 2\,G_e)/(\varepsilon_0\,[\varepsilon_i + 2\,\varepsilon_e)]$

(Frequenz des Feldes, die die Ladungsrelaxation beschreibt)

und eines Zylinders

$A = 4\,\pi\,R^2\,H,$

$$B = \frac{(G_i\,\varepsilon_e - G_e\,\varepsilon_i)\,\varepsilon_0\,\varepsilon_e}{(\varepsilon_i + \varepsilon_e)\,(G_i + G_e)},$$

$$\omega_c = \frac{(G_i + G_e)}{\varepsilon_0\,(\varepsilon_i + \varepsilon_e)}.$$

w Winkelgeschwindigkeit des Feldes
w_K Winkelgeschwindigkeit der Kugel
R Radius des Körpers
H Höhe des Zylinders (die Dielektrizitätskonstanten und Leitfähigkeiten sind Bild 1 zu entnehmen)

Im konstanten elektrischen Feld (Quincke-Rotation) ist $w = 0$. Eine stationäre Geschwindigkeit wird erreicht, wenn das Drehmoment gerade dem Reibungsmoment entspricht:

$$\vec{M} = \vec{M}_F. \tag{4}$$

Die stationäre Winkelgeschwindigkeit des Rotors (w_K) ergibt sich unter Verwendung des Stokesschen Reibungsmomentes zu

$$\omega_{K\infty} = \sqrt{\frac{-(A\,B\,E^2\,\omega_c)}{C} - \omega_c^2}, \tag{5}$$

wobei für A und B die bereits angegebenen Ausdrücke einzusetzen sind.

Im Fall eines kugelförmigen starren Rotors ist der Reibungsfaktor

$C = 8\,\pi\,\eta\,R^3$

bei Verwendung eines Zylinders

$C = 4\,\pi\,\eta\,R^2\,H.$

η Viskosität der Umgebungslösung.

Gleichung (5) ist hinsichtlich des Rotationsverhaltens der Rotoren im Gleichfeld sehr aufschlußreich.

Eine stationäre Drehung (Motorprinzip) ist demnach nur möglich, wenn

$$\frac{-(A\,B\,E^2)}{C} > \omega_c$$

und damit $\left[\frac{-(A\,B\,E^2)}{C}\right]$ positiv ist. Das geht aber nur, wenn die Leitfähigkeiten und Dielektrizitätskonstanten des Rotors und der Umgebungslösung wie folgt verteilt sind: $G_e\,\varepsilon_i > G_i\,\varepsilon_e$. Außerdem muß eine kritische Feldstärke überschritten werden, z.B. für eine Kugel

$$E_c = \frac{(G_i + 2\,G_e)}{\varepsilon_0} \sqrt{\frac{-2\,\eta}{3\,\varepsilon_e\,(G_i\,\varepsilon_e - G_e\,\varepsilon_i)}}, \tag{6}$$

was ebenfalls aus (5) folgt.

Die Richtung der Rotation ist nicht festgelegt, sondern wird durch den Anfangsimpuls bestimmt. Aus (5) geht hervor, daß die Rotationsgeschwindigkeit des Rotors mit dem Quadrat der Feldstärke zunimmt, die Leitfähigkeiten als auch die Dielektrizitätskonstanten in linearer Verknüpfung eingehen und die Radiusabhängigkeiten sich aufheben.

Im rotierenden elektrischen Feld ist das anders:

Nach Umstellung von (4) erhält man für die stationäre Rotation [unter der Voraussetzung die Rotationsgeschwindigkeit des Rotors

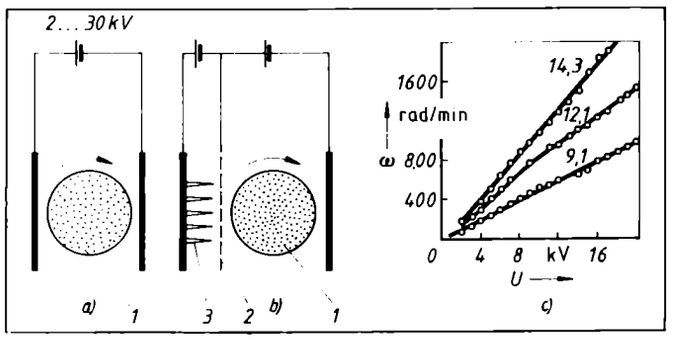
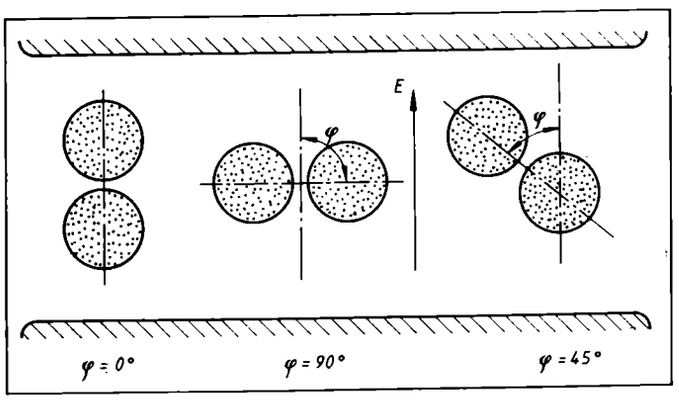


Bild 2
Einfacher dielektrischer Gleichstrommotor a) und Motor mit Ladungsinjektionselektroden (Rasierblattelektroden) b); das Diagramm c) zeigt die Rotationskennlinien



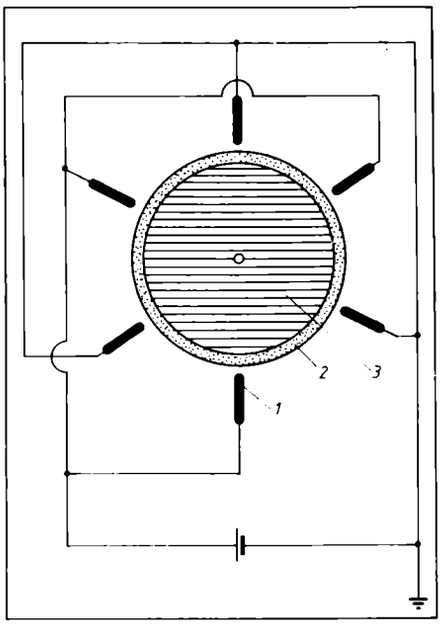


Bild 3 ▶
Multipolanordnung eines dielektrischen Gleichstrommotors aus [10]

Bild 4. Lage des Rotors und polarisierbaren Körpers im alternierenden elektrischen Feld zur Erklärung des Rotationsverhaltens aus [13]

sei sehr klein gegenüber der Felddrehung ($w_K = 0$)]

$$\omega_{K\infty} = \frac{A\,B\,E^2}{C} \cdot \frac{\omega/\omega_c}{[1 + (\omega/\omega_c)^2]}. \tag{7}$$

Aus (7) ist ersichtlich, daß eine Drehung des Rotors immer dann auftritt, wenn

$$G_l\,\varepsilon_e \neq G_e\,\varepsilon_l. \tag{8}$$

Die Winkelgeschwindigkeit kann positive als auch negative Werte annehmen, d.h., der Drehsinn des Rotors bezogen auf den Felddrehsinn ist durch die Leitfähigkeit und Dielektrizitätskonstanze des Rotors und des Umgebungsmediums festgelegt.
Kann man die Eigendrehung des Rotors nicht gegenüber der Felddrehung vernachlässigen, so folgt aus (4) eine kubische Gleichung, deren reelle Lösung das Rotationsverhalten beschreibt. In jedem Fall folgt aus der Frequenzabhängigkeit eine Frequenz, bei der ein maximales Drehmoment auftritt.
Die Strom-Spannungs-Beziehungen der Motoren lassen sich aus der elektrischen Leistung und dem Drehmoment ermitteln.

$$P_{el} = U\,I = N\,\omega_{K\infty}, \tag{9}$$

$$U = E\,d.$$

d Elektrodenabstand.

4. Diskussion verschiedener Motortypen

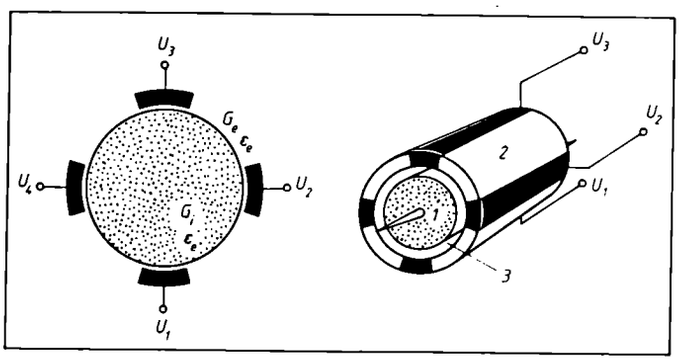
Prinzipiell lassen sich dielektrische Motoren sowohl mit konstanten, alternierenden als auch rotierenden Feldern betreiben. In der Literatur sind ausschließlich Motoren nach dem Quincke-Prinzip, also Gleichstrommotoren, beschrieben.
Es sollen einige dieser Motoren vorgestellt und anschließend neue Motortypen, angetrieben mit alternierenden oder rotierenden Feldern entwickelt werden, unter Umgehung bestimmter Nachteile der Gleichstrommotoren.

4.1. Dielektrische Gleichstrommotoren

Gleichstrommotoren wurden mehrfach in der Literatur behandelt und vermessen [*Sumoto* (1955), *Pickard* (1961), *Secker* und *Scialom* (1968)].
Zwei Motortypen sind im Bild 2 schematisch angegeben. Die dazugehörige Rotationsgeschwindigkeits-Spannungsverläufe sind dem Schema (Bild 2c) (die Zahlen an den Kurven geben die Alkoholkonzentration im Umgebungsmedium an) beigefügt.
Die Rotoren bestanden aus Ebonit oder Perspex bei Abmessungen von 10 bis 20 mm. Als Außenmedium verwendeten die Autoren verschiedene Alkohole bzw. Mischungen mit Hexan einer Leitfähigkeit von 10^{-11} bis 10^{-8} S/m. Bei Spannungen von 3 bis 30 kV fließen Ströme im µA-Bereich, woraus eine Leistungsaufnahme im mW-Bereich folgt. Daher ist auch das Drehmoment außerordentlich gering.
Andererseits ist der Motorlauf konstant und empfindlich über die Spannung als auch die elektrischen Eigenschaften der Außenlösung beeinflußbar [vgl. Gl. (5)].
Der Motortyp A hat den Nachteil, daß er gestartet, d.h. in eine Richtung angeschoben werden muß. Diesen Nachteil hat man durch Anfügen von Ladungsinjektionselektroden zu beheben versucht. Sie führen zu einer gerichteten Strömung im Außenmedium, die den Motor in den gewünschten Drehsinn bringt. Das Verfahren ist jedoch stark lösungsabhängig und funktioniert nicht störungsfrei.
Die Benutzung von Multipolanordnungen [10] verbessert den Wirkungsgrad der Motoren, bringt jedoch keine wesentlichen Vorteile gegenüber den vorher beschriebenen Varianten (Bild 3).
An dieser Stelle wird klar, daß dielektrische Motoren, auch in größeren Dimensionen, keine Antriebssysteme sind. Vielmehr müssen die Rotoren reibungsarm gelagert werden, erfordern dafür aber kaum Wartungsarbeiten und sind fast beliebig miniaturisierbar, worauf in einem gesonderten Abschnitt noch einmal eingegangen wird.

4.2. Dielektrische Wechselfeldmotoren

Aus der Literatur sind keine dielektrischen Wechselfeldmotoren bekannt, sie können jedoch analog dem von *Holzapfel* u.a. (1982) beschriebenen Mechanismus der Rotation von biologischen Zellen im Dielektrophoresefeld konstruiert werden:
Wichtig für die Rotation ist die Lage eines etwa gleich großen polarisierbaren Körpers in der Nähe. *Holzapfel* u.a. zeigten, daß das Drehmoment ein Maximum erreicht, wenn die beiden Körper zueinander in einem Winkel von 45° zur Feldrichtung stehen. Bei einem Winkel von 0 bzw. 90° tritt keine Rotation auf (Bild 4). Ein entsprechender Motor würde aus diesem Grund aus einem feststehenden Stab desselben Materials bestehen, aus dem sich auch der Rotor zusammensetzt, oder aber aus zwei Rotoren aufgebaut sein. Die beiden Körper sollten so eng wie möglich angeordnet werden, da die Dipolwechselwirkungen mit der 3. Potenz des Abstandes abnehmen. Die Rotation kommt über die zum externen Feld phasenverschobene Dipolfeldwechselwirkung der beiden dielektrischen Festkörper zustande. Der polarisierte Nachbarkörper übernimmt die Funktion einer Hilfselektrode, die zusammen mit den zwei Arbeitselektroden ein rotierendes Feld erzeugt, wenn auch mit



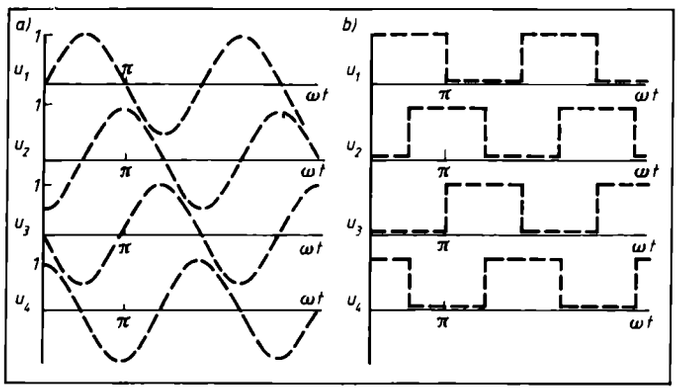
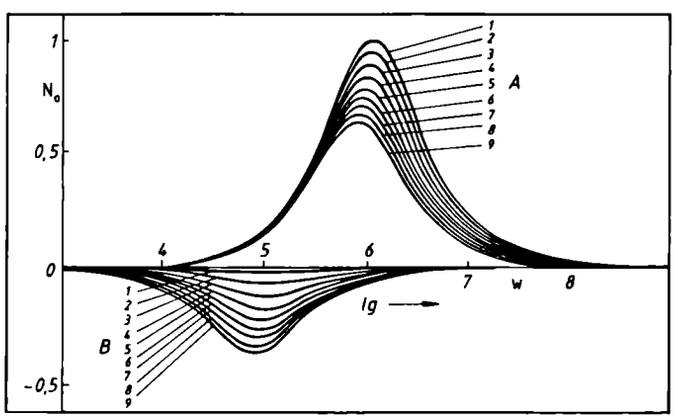


Bild 5. Prinzip eines dielektrischen Rotationsfeldmotors, geeignet zum Betrieb mit kontinuierlich (a) und diskontinuierlich rotierendem Feld (b). 1 Rotor, 2 Elektrodenisolation, 3 Umgebungsmedium (Flüssigkeit)



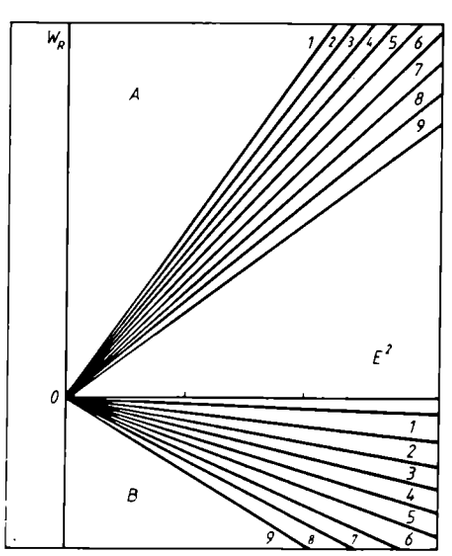


Bild 6
Abhängigkeit des Rotordrehmoments (normiert, $N_0 = N/N_{max}$) von der Kreisfrequenz (ω) des Drehfeldes und Abhängigkeit der Rotorgeschwindigkeit (ω_R) von der Feldstärke (E)
Charakteristische Parameter
Rotor: $G_i = 10^{-8}$ S/m
Umgebungslösung: destilliertes Wasser
$G_e = 5{,}3 \times 10^{-4}$ S/m
Kurvenschar A:
Variation von ε_i
1 – 2 6 – 50
2 – 10 7 – 60
3 – 20 8 – 70
4 – 30 9 – 80
5 – 40
Kurvenschar B:
Variation von ε_i entsprechend Kurvenschar A bei einer Leitfähigkeit des Rotors von $G_i = 10^{-8}$ S/m

stark ändernder Amplitude je Feldumlauf. Da die Rotationscharakteristik derartiger Motoren sehr ähnlich der im rotierenden Feld ist, wird auf eine nähere Beschreibung verzichtet. Die Frequenz (ω_c) des alternierenden Feldes, bei der ein maximales Drehmoment auftritt, kann mit (3) abgeschätzt werden. Die Drehrichtung dieser Motoren und Multirotoranordnungen ist durch die Lage der Körper zueinander sowie die elektrischen Eigenschaften des Rotormaterials und des Umgebungsmediums festgelegt. In der Regel drehen diese Motoren im Vergleich zu drehfeldbetriebenen Motoren etwa 6 mal langsamer bei gleicher Feldstärke.

4.3. Dielektrische Rotationsfeldmotoren

Auch dielektrische Rotationsfeldmotoren sind nicht in der Literatur beschrieben. Ausgehend von den an Zellen gewonnenen Erkenntnissen wurden einfache Motoren dieses Typs gebaut, erprobt und ihr Rotationsverhalten gemessen. Bild 5 zeigt das Prinzip und den schematischen Aufbau eines solchen Motors.

Verwendet man einen homogenen dielektrischen Rotor (Zylinder oder Kugel), so zeigt der Rotor das im Bild 6 dargestellte Rotationsverhalten. Die Geschwindigkeit wächst mit dem Quadrat der Feldstärke [vgl. auch Gl. (7)]. Die Abhängigkeit des Drehmoments von der Kreisfrequenz des Feldes zeigt eine Verteilung, wie sie von Resonanzprozessen bekannt ist. Bei welcher Frequenz ein Maximum der Rotation auftritt, hängt von den elektrischen Eigenschaften des Rotors und Umgebungsmediums ab. Die Motoren lassen sich mit kontinuierlich (90° phasenverschobene Sinusspannungen) als auch diskontinuierlich (90° phasenverschobenen Rechteckspannungen) rotierenden elektrischen Feldern betreiben. Natürlich können auch andere Feldformen, wie elliptisch polarisierte Felder, verwendet werden. In Verbindung mit einem Rotor, der in seinen dielektrischen Eigenschaften nicht zentralsymmetrisch (bezogen auf die Rotationsachse) aufgebaut ist, also im einfachsten Fall einen elliptischen Querschnitt hat, ergeben sich interessante Anwendungsaspekte:

Ein solcher Rotor hat in einem einfachen, linearen elektrischen Wechselfeld eine Vorzugslage. In einem elliptisch polarisierten Feld würde in der Nähe der Vorzugslage eine kleinere Winkelgeschwindigkeit auftreten. Man könnte also, z.B. durch geeignete Rotorformen, definierte Winkelgeschwindigkeitsänderungen je Rotorumdrehung bewirken. Technisch interessanter dürften jedoch „dielektrische Schrittmotoren" sein. Verwendet man einen elliptischen Rotor in einer aus 6 Elektroden bestehenden Kammer, so kann der Rotor durch die Ansteuerung von nur 2 gegenüberliegenden Elektroden orientiert werden. Steuert man im nächsten Schritt zwei andere Elektroden an, so wird der Rotor sich durch Drehung in eine neue definierte Lage bringen, die ein energetisches Minimum darstellt.

Doch zurück zum kreisförmig polarisierten Feld. Die Frequenz des Maximums der Rotordrehung kann je nach den verwendeten Materialien zwischen 100 Hz und mehr als 50 MHz liegen.

Besonders günstig sind Rotoren, die schalenförmig aus mehreren Dielektrika aufgebaut sind (wobei auch Flüssigkeiten und Metallschichten eingelagert werden können), da sie über mehrere Extrema im Rotationsspektrum verfügen und zu höheren Drehmomenten führen (Bild 7). Unter einem schalenförmig aufgebauten Rotor ist ein Körper zu verstehen, bei dem ein inneres Dielektrikum von einem oder mehreren Dielektrika schalenförmig umhüllt wird.

Die untersuchten Rotoren hatten einen Durchmesser von 1 bis 40 mm, die Amplitude der Elektrodenspannungen variierte zwischen 4 und 300 V bei einem Elektrodenabstand von 2 bis 50 mm. Die erreichten Rotorgeschwindigkeiten lagen bei 20 bis 600 U/min.

Der besondere Vorteil der Rotationsfeldmotoren liegt in ihrem festgelegten Drehsinn, so daß das Anschieben der Quincke-Motoren entfällt. Des weiteren ist die Drehzahl über die Feldfrequenz und die Feldstärke empfindlich regelbar.

Die Festlegung, vier Elektroden zur Erzeugung des zirkular-polarisierten Feldes zu verwenden, ist nicht bindend, ebenso gut können drei oder mehr Elektroden benutzt werden.

4.4. Miniaturisierte Motoren

Ein besonderer Vorteil dielektrischer Motoren ist die Möglichkeit ihrer Miniaturisierung. Im Bild 8 ist ein Rotationsfeldmotor mit einem Durchmesser von 20 µm und einer Gesamtgröße von nur 100 µm abgebildet. Dieser Motor wurde erprobt und zeigte dieselben Rotationsspektren wie größere Modelle. Das ist verständlich, da entsprechend (7) keine nennenswerte Radiusabhängigkeit der Rotorgeschwindigkeit vorliegt. Mit Elektrodenspannungen zwischen 2 und 10 V lassen sich Rotorgeschwindigkeiten von 5 bis 600 U/min erreichen.

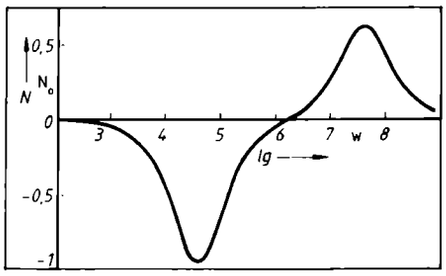
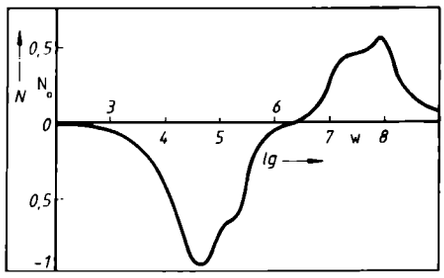


Bild 7. Schalenförmige Rotoren und dazugehörige Rotationsspektren

◀ 1-schaliger Rotor
ε_i 50; G_i = 0,1 S/m
ε_s 6; $G_s = 10^{-6}$ S/m
ε_e 80; $G_e = 10^{-3}$ S/m

▶ 3-schaliger Rotor
ε_i 50; G_i = 0,1 S/m
ε_{s1} 6; $G_{s1} = 10^{-3}$ S/m
ε_{s2} 50; $G_{s2} = 10^{-3}$ S/m
ε_{s3} 6; $G_{s3} = 10^{-5}$ S/m



Die geringen Ströme ermöglichen eine direkte Ansteuerung mit digitalen Schaltkreisen.
Die Zeitkonstante des Anlaufverhaltens des Rotors läßt sich über

$$\tau_a = \varrho\, R^2/15\, \eta \qquad (10)$$

beschreiben [27], wobei ϱ die Dichte des Rotormaterials ist. τ_a liegt für den im Bild 8 abgebildeten Motor bei kleiner 10^{-4} s, d.h. schon nach etwa 10^{-4} s bleibt die Rotorgeschwindigkeit konstant. Der Motor läßt sich damit bis in den ms-Bereich in einer geschopperten Betriebsart verwenden. Rotoren von wenigen Mikrometern Durchmesser, die ebenfalls rotieren, drehen schon nach 10^{-5} s stationär.

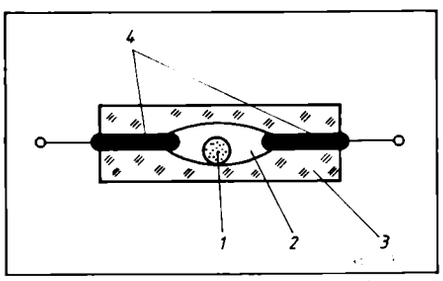
5. Vor- und Nachteile dielektrischer Motoren

Einige Vor- und Nachteile sind bereits erwähnt worden, wie Miniaturisierbarkeit, geringer Stromverbrauch und Langsamläufereigenschaften. Auffallend ist bei allen Motortypen der extrem einfache Aufbau und die daraus resultierende Wartungsarmut. Die Elektroden können aus rostfreiem Stahl, Gold oder Platin bestehen. Voraussetzung ist nur, daß sie sich nicht in der Umgebungslösung durch den elektrolytischen Stromfluß auflösen. Der Motorraum kann abgeschlossen werden, und zwar auch so, daß der gesamte Motor lichtdurchlässig ist. Das ist möglich, da der Rotor z.B. aus Glas bestehen kann (sehr günstig ist eine mit leitfähiger Flüssigkeit gefüllte Glashohlkugel). Die Elektroden können noch wesentlich kleiner gehalten werden als in den angegebenen Beispielen.
Nachteilig ist das geringe Drehmoment, so daß eine sorgfältige Rotorlagerung erforderlich ist (Nadellager). Bei miniaturisierten Motoren ist es etwas einfacher, da man Kugeln oder Ellipsoide auf einer Unterlage (z.B. einem gewölbten Glasträger) sehr reibungsarm lagern kann.
Die Viskosität der Umgebungslösung sollte in der Nähe der des Wassers liegen oder darunter. Als Außenmedium können bei Verwendung von Drehfeldern neben Flüssigkeiten auch Gase bzw. Vakuum zugelassen werden. Das wirksame Drehmoment wird dann jedoch um die Differenz der jeweiligen Dielektrizitätskonstanten zu der des Wassers reduziert.
Die Leitfähigkeit der Rotorumgebungslösung muß niedriger als 0,1 S/m liegen, da sonst Wärmeentwicklung an den Elektroden zu Gasblasen führt.

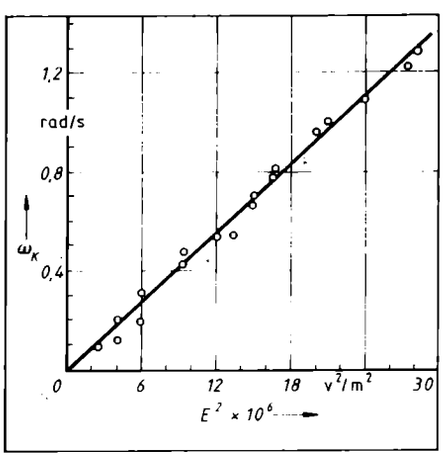
6. Anwendungsgebiete und Möglichkeiten

Technische Anwendungen dieser Motorprinzipien sind nicht bekannt. Möglicherweise findet sich jedoch die eine oder andere Variante in einem Gerät, dessen Beschreibung nicht zugänglich war. Schon *Hertz*, *Born* und *Lertes* wiesen darauf hin, daß man Änderungen der elektrischen Eigenschaften einer Lösung (Dielektrizitätskonstante, Leitfähigkeit) mit Hilfe solcher Rotoren erfassen könnte.
Die Natur scheint in dieser Hinsicht einen Schritt weiter gegangen zu sein und hat im Laufe von Jahrmillionen bei einigen Bakterien einen dem Quincke-Motor ähnlichen Flagellenantrieb geschaffen. Da ihr somit die Entwicklung des ersten Motors zugeschrieben werden muß und dieser Mechanismus auch für Techniker interessant sein dürfte, soll dieser Flagellenmotor kurz erläutert werden.
Bei Gram-positiven Bakterien ist ein wenige nm großer Proteinring mit einem bis zu 50 µm langem Filament verbunden, dessen Rotation (bis zu 40 Umdrehungen je Sekunde!) die Bakterien vorantreibt. Der Motor im eigentlichen Sinn ist der Proteinring, der im konstanten elektrischen Feld der Bakterienmembran (nur wenige nm groß) so angeordnet ist, daß er die Energie dieses Membranfeldes (Potentialdifferenz von etwa 50 mV) in ein Drehmoment umsetzen kann [29]. Der Energieverlust wird durch Ionenpumpen, die die Potentialdifferenz über der Membran aufrecht erhalten, ersetzt. Die vom Motor verbrauchte Energie stammt somit aus dem Stoffwechsel der Bakterien.
Es handelt sich eindeutig um einen potentialgetriebenen dielektrischen Motor. Gleichzeitig ist der Flagellenmotor eines der wenigen Beispiele echter Rotationserscheinungen in biologischen Systemen [29].
Doch zurück zu technischen Anwendungen, vor allem der Rotationsfeldmotoren.

Bild 8
Miniaturisierter Rotationsfeldmotor mit Winkelgeschwindigkeits-Feldstärkekennlinie
1 Rotor (z.B. Latex-, Sephadex- oder Glaskugel); 2 Umgebungslösung (Wasser, Alkohol o.ä.); 3 Glasgehäuse; 4 zwei der vier Elektroden

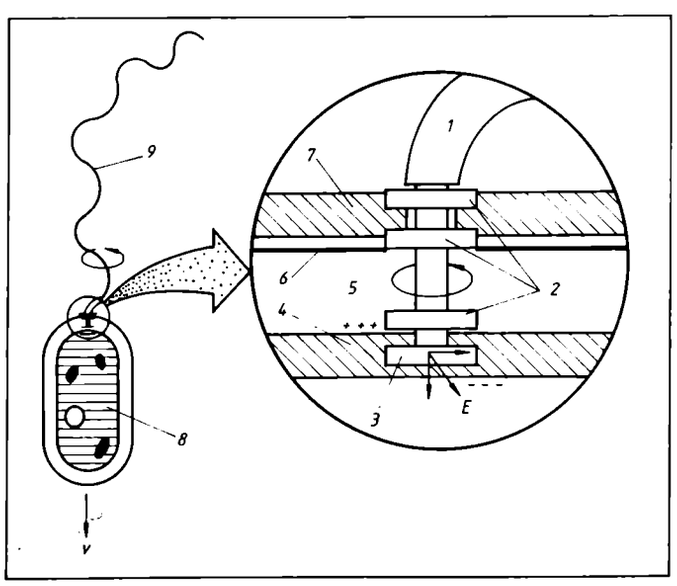


a)



b)

Bild 9
Bakterie mit Flagelle (links) und vergrößertem Antriebsmechanismus.
1 Flagellenhaken,
2 Lagerungsringe,
3 Antriebsring (Rotor),
4 Membran,
5, 6, 7 aufgelagerte Schichten,
8 Bakterienkörper,
9 Flagelle



Möglicherweise lassen sie sich auf Grund ihrer Miniaturisierbarkeit in der Mikroelektronik als elektronisch-mechanisches Bindeglied verwenden. Denkbar wären schrittweiser Betrieb zur Freigabe und Sperrung von optischen Kanälen der Informationsübertragung oder ein Bauelement zur Lagebestimmung im Raum, bei dem eine Kugel oder ein Ellipsoid nur dann rotiert, wenn eine bestimmte Lage des Bausteins eingenommen wird.
Das alles sind jedoch sehr spekulative Vorstellungen ohne jede praktische Erprobung und Sachkenntnis. Es wäre deshalb erfreulich, wenn neben der Information in Folge dieses Artikels über technische Anwendungsmöglichkeiten nachgedacht würde. Für entsprechende Nachfragen stehen wir zur Verfügung.

Nachbemerkung

Ende 1988 wurde an der Universität von Kalifornien (Berkeley) ein erster elektronischer Baustein mit einem integrierten dielektrischen Miniaturmotor, wie er hier beschrieben ist, der Öffentlichkeit vorgestellt. Als Anwendungen werden mikrochirurgische Instrumente, flache TV-Röhren und dynamisch veränderbare Oberflächen von Flugzeugen genannt [Chips mit Dreh. GEO 10 (1988) S. 188–189]. Somit hat die hier gestellte Frage der Nutzbarkeit dieses Motorprinzips eine erste Antwort erhalten und mikroelektronische Anwendungen sind in den Blickpunkt technischen Interesses gerückt.

Literatur

[1] *Jones, T. B.:* Quincke rotation of spheres. IEEE Transactions on Industry Applications. Vol. IA-20 (1984) 4, S. 845–849
[2] *Quincke, G.:* Über Rotationen im constanten elektrischen Felde. Ann. Phys. Chem., Bd. 59 (1896), S. 417–486
[3] *Heydweiller, A.:* Über Rotationen im constanten elektrischen Felde. Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. 16 (1897), S. 32–36
[4] *Heydweiller, A.:* Über bewegte Körper im elektrischen Felde und über die elektrische Leitfähigkeit der atmosphärischen Luft. Ann. Phys. Chem. 69 (1899), S. 531–575
[5] *Lampa, A.:* Dielectric hysteresis. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. 115 (1906), S. 1659–1690
[6] *Richardson, S. W.:* Rotation of dielectric bodies in elektrostatic fields. Nature 119 (1927), S. 238
[7] *Vedy, L. G.:* On the rotation of dielectrics in electrostatic fields and related phenomena. Proc. Cambridge Phil. Soc. 27 (1931), S. 91–102
[8] *Sumoto, I.:* Rotary motion of dielectrics in a static electric field. Rep. Sci. Res. Inst. 32 (1956), S. 41–56
[9] *Secker, P. E.; Scialom, I. N.:* A simple liquid-immersed dielectric motor. J. Appl. Phys. 39 (1968), S. 2957–2961
[10] *Secker, P. E.; Belmont, M. R.:* A miniature multipole liquid-immersed dielectric motor. J. Phys. D: Appl. Phys. 3 (1970), S. 216–220
[11] *Coddington, T.; Pollard, A. F.; House, H.:* Operation of a dielectric motor with a low conductivity liquid. J. Phys. D: Appl. Phys. 3 (1970), S. 1212–1218
[12] *Simpson, P.; Taylor, R.:* Characteristic rotor speed variation of a dielectric motor with a low-conductivity liquid. J. Phys. D: Appl. Phys. 4 (1971), S. 1893 bis 1897
[13] *Holzapfel, C.; Vienken, J.; Zimmermann, U.:* Rotation of cells in an alternating electric field: Theory and experimental proof. J. Membr. Biol. 67 (1982), S. 13 bis 26
[14] *Pohl, H. A.; Crane, J. S.:* Dielectrophoresis of cells. Biophys. J. 11 (1971), S. 711–727
[15] *Arnold, W. M.; Zimmermann, U.:* Rotating-field induced rotation and measurement of the membrane capacitance of single mesophyll cells of AVENA SATIVA. Z. Naturforsch. 37c (1982), S. 908–915
[16] *Glaser, R.; Fuhr, G.:* In: „Electric Double Layers in Biology". Blank, M. ed., Plenum Press New York (1986)
[17] *Funakoshi, H.:* Theory of birefringenca caused by the orientation. Ann. of the Institute of Statistical Mathematics, Supplement V (1968), S. 45–66
[18] *Schweidler, E. R. v.:* Über Rotationen in homogenen Feldern. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. 106 (1897), S. 526–532
[19] *Born, M.:* Über die Beweglichkeit der elektrolytischen Ionen. Z. f. Physik 1 (1920), S. 221–249
[20] *Lertes, P.:* Untersuchungen über Rotationen von dielektrischen Flüssigkeiten im elektrischen Drehfeld. Z. f. Physik 4 (1921), S. 315–336
[21] *Lertes, P.:* Der Dipolrotationseffekt bei dielektrischen Flüssigkeiten. Z. f. Physik 6 (1921). S. 56–68
[22] *Fuhr, G.; Hagedorn, R.; Göring, H.:* Cell rotation in a discontinuous field of a 4-electrode chamber. stud. biophys. 102 (1984), S. 221–227
[23] *Teixeira-Pinto, A. A.; Nejelski, L. L.; Cutler, J. L.; Heller, J. H.:* Exp. Cell res. 20 (1960), S. 548–564, zit. bei *Zimmermann, U.:* Electric field mediated fusion and related electrical phenomena. BBA 694 (1982), S. 227–277
[24] *Zimmermann, U.; Vienken, J.; Pilwat, G.:* Rotation of cells in an alternating electric field: the occurence of a resonance frequency. Z. f. Naturforsch. 35c (1981), S. 173–177
[25] *Stretton, J. A.:* Electromagnetic Theory. McGraw Hill Inc., New York 1941
[26] *Landau, L. D.; Lifshitz, E. M.:* Electrodynamics of continuous media. Course of theoretical physics Vol. 8, Pergamon Press, New York 1960
[27] *Sauer, F. A.; Schlögl, R. W.:* IN „Interaction between Electromagnetic Fields and Cells". *Chabrera, A.; Nicolini, C.; Schwan, H.* (eds.). New York: Plenum Press (1985), S. 203–251
[28] *Fuhr, G.; Geißler, F.; Müller, T.; Hagedorn, R.; Torner, H.:* Differences in the rotation spectra of mouse oocytes and zygotes. BBA 930 (1987), S. 65–71
[29] *Silvermann, M.:* Building bacterial flagella Quart. Rev. of Biol. 55 (1980), S. 395–408

Eingegangen am 14. Dezember 1987 EA 5935

Prof. (em.) Dipl.-Ing. Fritz Schultheiß 80 Jahre

Am 28. Februar 1989 vollendet Prof. (em.) Dipl.-Ing. *Fritz Schultheiß* sein 80. Lebensjahr. Seine Schüler und früheren Fachkollegen gratulieren dem Jubilar dazu ganz herzlich!

Prof. *Schultheiß* war von 1961 bis 1968 Direktor des Instituts für elektrische Energieanlagen der TU Dresden. Nach Bildung der Sektion Elektrotechnik 1968 war er bis zu seiner Emeritierung o. Professor für Elektroenergieanlagen im Wissenschaftsbereich Elektrotechnische Betriebsmittel, aus dem 1976 die Wissenschaftsbereiche Elektroenergietechnik und Hochspannungstechnik hervorgegangen sind.[1])

Prof. *Schultheiß* und seine Mitarbeiter haben sich neben wissenschaftlichen Beiträgen zur Bemessung und Gestaltung von Mittelspannungs- und Hochspannungsschaltanlagen insbesondere mit Problemen der Strombelastbarkeit von Elektroenergieanlagen und deren Erdungsanlagen beschäftigt. Die Anwendung der Wärmequellennetzmethode zur Modellierung und Berechnung der Erwärmung von Strombahnelementen, die Koordination der thermischen Belastbarkeit einzelner Geräte und Baugruppen innerhalb eines Schaltzellenverbandes bzw. einer Schaltanlage sowie die Weiterentwicklung der Erdungstechnik sind fest mit dem Namen *Schultheiß* und seiner Schüler verbunden. Das jetzt in 2. Auflage vorliegende VEM-Handbuch Hochstromtechnik sowie die regelmäßig in Gera stattfindenden Erdungstagungen sind Langzeitwirkungen des Schaffens eines temperamentvollen, nimmermüde werdenden Hochschullehrers auch 15 Jahre nach seiner Emeritierung.

Die große Wegstrecke der Entwicklung unserer Gesellschaft und seines Fachgebietes, die Prof. *Schultheiß* erlebt und mitgestaltet hat, seine hohe Allgemeinbildung, seine Erzählkunst und sein Humor geben auch heute bei seinen gelegentlichen Teilnahmen an wissenschaftlichen Kolloquien und gesellschaftlichen Ereignissen im Bereich Elektroenergietechnik diesen Veranstaltungen eine besondere Note.

Wir wünschen dem Jubilar viel Gesundheit und Aufgeschlossenheit für alles, was sich um ihn und um uns bewegt.

H. Ambrosch, Dresden; *H. Böhme*, Dresden EA 2955

[1]) Siehe auch ELEKTRIE, Berlin 28 (1974) 3, S. 128

Stand und Tendenzen der Entwicklung von leistungselektronischen Bauelementen[1)]

H. Conrad, KDT, Dresden

Die Leistungselektronik — Bindeglied zwischen Informationssystem und technologischem Prozeß und damit Bestandteil der Mechatronik — gewinnt mit der fortschreitenden Automatisierung und Elektronisierung der Volkswirtschaft als Stellglied in der Automatisierungstechnik und als Speisequelle für elektrotechnologische Prozesse zunehmend an Bedeutung [1] [2]. Innovationen werden vor allem durch neue und verbesserte leistungselektronische Bauelemente (LEBE) sowie moderne Ansteuerstrategien auf der Grundlage der Mikroelektronik verursacht und ihre breite Nutzung durch rechnergestützte Entwurfsverfahren beschleunigt [3] bis [8].
Während Thyristoren für lange Zeit ihre Bedeutung in netzgelöschten und einem Teil der lastgelöschten Stromrichter behalten werden, ist in den letzten 10 Jahren durch die Entwicklung von über den Steuerstrom ein- und ausschaltbarer LEBE ein Wandel bei selbstgelöschten Stromrichtern eingetreten [9] [10].

1. Trend der Entwicklung von LEBE

Der Trend der Entwicklung von LEBE wird langfristig durch folgende Entwicklungszielstellungen charakterisiert:

- Erhöhung der Schaltleistung bei möglichst geringem Einschaltwiderstand
- Verbesserung des Schaltverhaltens zur Senkung der Schaltverluste und Erhöhung der Taktfrequenz
- Senkung des Ansteueraufwandes, insbesondere Herstellung der TTL- bzw. CMOS-Kompatibilität
- Senkung des Montageaufwandes beim Anwender durch Übergang zur Modultechnik.

Davon wurde vor allem bei der Weiterentwicklung von Dioden und Thyristoren im breiten Maße Gebrauch gemacht. Die Erhöhung der Sperrspannung U_R ist dabei aber nicht kompromißlos möglich, weil das bei festliegender Durchbruchfeldstärke E_{cr} des Halbleitermaterials gemäß

$$U_R = \frac{w \cdot E_{cr}}{2} = \frac{\varepsilon}{2e}\left[\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D}\right] E_{cr}^2, \tag{1}$$

e Elementarladung
$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$ Dielektrizitätskonstante,

eine große Sperrschichtweite w bzw. niedrige Dotierungsdichte N_A und N_D des pn-Übergangs voraussetzt [11]. Dem kann durch Einschieben schwach dotierter Zwischenschichten (z. B. n^-) der Breite w_{n^-} entsprochen werden, was aber zur Folge hat, daß der Einschaltwiderstand anwächst:

$$R_{n^-} = \frac{w_{n^-}}{A\, N_D\, \mu_n}, \tag{2}$$

μ_n Beweglichkeit der Elektronen
A Fläche.

Das wirkt sich insbesondere bei unipolaren Leistungshalbleitern aus, für die

$$R_{on} = K\, U_{(BR)}^{2,5}, \tag{3}$$

$U_{(BR)}$ Durchbruchspannung
$K = f(\mu_n, E_{cr}, N_D, W_n)$,

gilt [12].
Durch Injektion von Minoritätsträgern wird bei bipolaren LEBE der Widerstand im Durchlaßfall verkleinert. Um diese Leitfähigkeitsmodulation zu erreichen, muß aber die Diffusionslänge

$$L = \sqrt{D\tau}, \tag{4}$$

D Diffusionskoeffizient
τ Trägerlebensdauer,

etwa der Sperrschichtweite w entsprechen. Das heißt, die Trägerlebensdauer τ ist dem Quadrat der Sperrschichtweite proportional, so daß daraus bei hochsperrenden Bauelementen eine große Speicherladung

$$Q = \tau\, I_F, \tag{5}$$

I_F Durchlaßstrom,

resultiert, die lange Schaltzeiten zur Folge hat.
Die Verbesserung des Schaltverhaltens erfordert dagegen eine geringe Trägerlebensdauer, was im Gegensatz zu der erstgenannten Anforderung steht. Das kann z. B. durch Einbau von Rekombinationszentren (Schwermetalldotierung, Protonenbestrahlung), Emitterkurzschlüsse oder Optimierung der Basis/Emitterzonen erreicht

Dr. sc. techn. *Harry Conrad* ist ordentlicher Professor für Leistungselektronik an der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden und Vorsitzender der WS Elektrotechnologie des FV Elektrotechnik der KDT.

[1)] Dieser Aufsatz eröffnet eine Reihe von Beiträgen zum 75. Geburtstag von Prof. (em.) Dr.-Ing. habil. *Rudolf Lappe*, dem Nestor der Leistungselektronik der DDR.

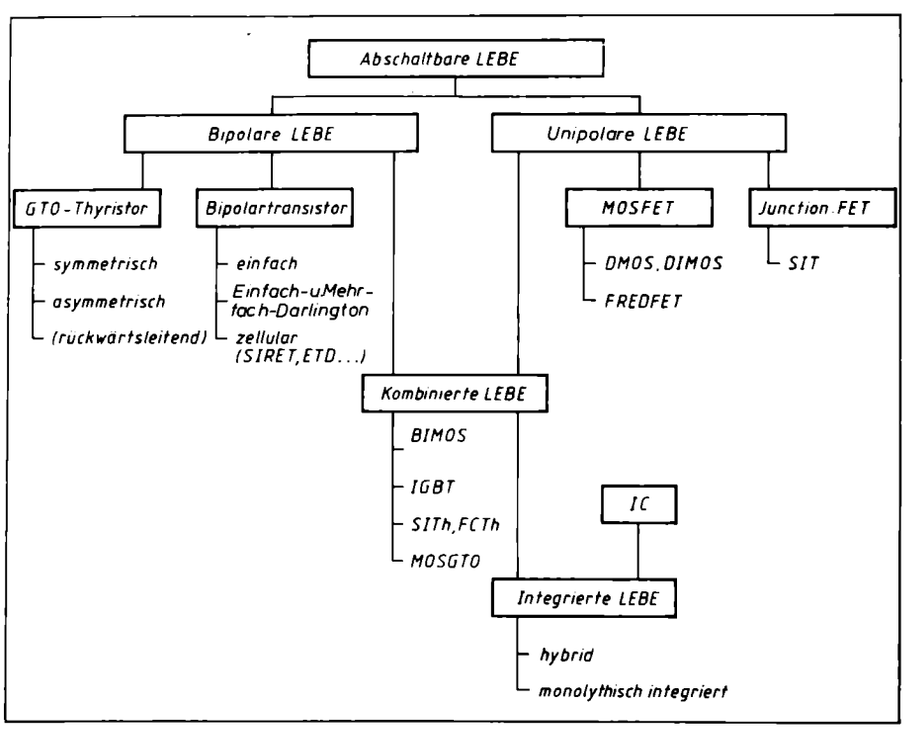


Bild 1. Klassifizierung von abschaltbaren leistungselektronischen Bauelementen

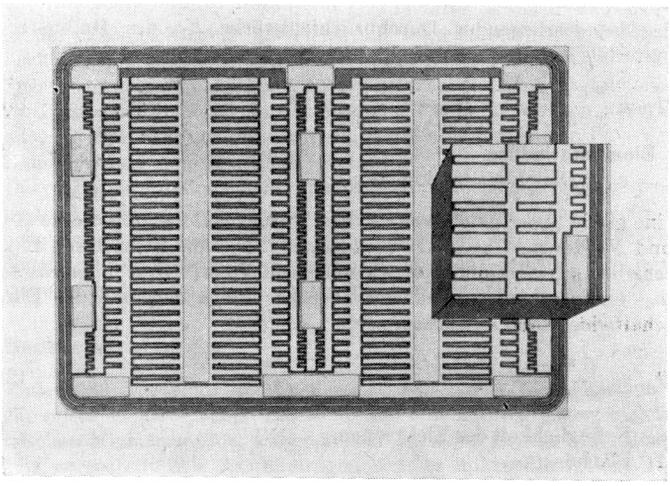


Bild 2. Struktur eines bipolaren 3fach-Darlington-Leistungstransistors (AEG)

werden. Das bedeutet, der Entwurf von LEBE ist immer ein Kompromiß von physikalischen und konstruktiv-technologischen Gegebenheiten und schließt folgende Lösungswege ein:

- Vergrößerung der Chipabmessungen auf der Grundlage der Erhöhung des Durchmessers von tiegelfrei gezüchteten Si-Einkristallen
- Anwendung von Basistechnologien der Mikroelektronik zur Verfeinerung der Strukturierung und Erhöhung des Integrationsgrades sowie von MOS- und Mischtechnologien
- Optimierung der Bauelementestrukturen durch Anwendung von rechnergestützten Entwurfsmethoden
- Einsatz neuer Halbleiterwerkstoffe, wie GaAs u. a.

Der Einsatz von GaAs als Halbleitermaterial ermöglicht z. B. eine höhere Ersatzsperrschichttemperatur ($T_{(vj)\,M} = 350\,°C$), so daß entweder die zulässige Stromdichte vergrößert und im Vergleich zu Si kleinere Chipabmessungen zustande kommen oder bei gleicher zulässiger Sperrspannung wie bei Si die Dotierungsdichte erhöht werden kann, um die Basisweite zu verringern und ein besseres Schaltverhalten zu erzielen.
Im Ergebnis sind verbesserte konventionelle und neuartige LEBE, z. B. über den Steuerstrom ein- und ausschaltbare (abschaltbare) LEBE bzw. LEBE mit integrierten Ansteuer- und Schutzfunktionen (integrierte LEBE) zu erwarten und damit neue leistungselektronische Schaltungsstrukturen möglich.

2. Abschaltbare LEBE

Abschaltbare LEBE sind Schlüsselbauelemente der Leistungselektronik und bestimmen maßgebend deren zukünftige Gesamtentwicklung [12] [13]. Sie könnten nach ihrem physikalischen Wirkprinzip in bipolare und unipolare LEBE unterteilt und aus heutiger Sicht nach der im Bild 1 gezeigten Weise klassifiziert werden.

2.1. Bipolare Leistungstransistoren

Bipolartransistoren und GTO-Thyristor sind aufgrund des gleichen Wirkprinzips und den damit verbundenen Speicherladungen bezüglich der erreichbaren Schaltzeiten von einigen kHz vergleichbar [14] [15]. Dabei kann der GTO als Kompromiß zwischen der hohen Schaltleistung eines Thyristors und des Abschaltverhaltens eines Transistors angesehen werden. In Konkurrenz zum GTO konnte die Leistungsgrenze des bipolaren Transistors in den letzten Jahren wesentlich erhöht werden. Der starke Abfall der Emitterstromverstärkung bei hohen Kollektorströmen und mit wachsender Kollektordurchbruchspannung

$$h_{FE} \sim A\, I_c^{-1} \cdot U_{CBO}^{-2,3} \tag{6}$$

zwingt im Interesse einer effektiven Ausnutzung der Emitterfläche zum Übergang auf Darlingtonstrukturen. Die dabei erzielbare Stromdichte steckt die Grenze zum GTO-Thyristor ab. Trotz Fingerstruktur und Untergliederung in parallelgeschaltete Teiltransistoren (Bild 2) lassen Speicherladung und Schaltverluste nur Schaltfrequenzen von einigen kHz zu. Es stehen heute potentialfreie Leistungstransistormodule auf der Basis von 3fach-Darlingtonstrukturen bis 400 A und 1200 V zur Verfügung, mit denen z. B. Transistorumrichter für die Drehstromantriebstechnik bis 300 kVA realisiert werden können. Der durch den Querwiderstand der Basis beim Abschalten des Transistors hervorgerufenen Stromverdrängung zur Mitte der Emitterfläche wird durch deren Unterteilung in feine Zellen entgegengewirkt, so daß ein lateral homogenes Abschalten gewährleistet wird. Damit wird die Gefahr des zweiten Durchbruchs vermindert und der sichere Arbeitsbereich erweitert, der Transistor kann gegen die Kollektor-Basis-Durchbruchspannung U_{CBO} abgeschaltet werden. Wegen der feineren Strukturierung und der dadurch möglichen Verminderung der Basisdicke werden darüber hinaus die Schaltzeiten drastisch vermindert. Derartige Transistoren können so problemlos bis zu Schaltfrequenzen von 20 kHz und darüber betrieben werden. Ein Beispiel ist der SIRET (Siemens-Ring-Emitter-Transistor) [16], der in Modultechnik für 2 × 50 A und 1000 V zur Verfügung steht, und mit dem z. B. höherfrequente Wechselrichter für die Speisung von geräuscharmen Drehstromantrieben im unteren Leistungsbereich und masse- und volumensparende Schaltnetzteile realisiert werden können.

2.2. GTO-Thyristoren

Durch die keinesfalls abgeschlossene Entwicklung von bipolaren Leistungstransistoren wurden GTO-Thyristoren in der Anwendung auf Abschaltströme größer 1000 A und Sperrspannungen größer 2000 V verdrängt. Anwendungsschwerpunkt ist die Traktion mit Drehstromantriebstechnik, wo z. B. beim Triebfahrzeug des ICE mit nur 28 asymmetrisch (rückwärts nicht sperrfähiger) Hochleistungs-GTO-Thyristoren für 3000 A und 4500 V (Scheibenzelle) eine Antriebsleistung von 4800 kW erzeugt werden kann [17]. Um eine hohe Abschaltverstärkung

$$V_G = \frac{I_{TQ}}{I_{GQ}} = \frac{A_2}{A_1 + A_2 - 1}, \tag{7}$$

I_{TQ} abzuschaltender Strom,
I_{GQ} negativer Steuerstrom,

zu erreichen, darf die Kreisverstärkung $A_1 + A_2$ nur wenig mehr als 1 betragen. Die daraus im Vergleich zum konventionellen Thyristor verschlechterte Mitkopplung ist nur durch einen erhöhten Durchlaßspannungsabfall zu erreichen. Ein sicheres Ausschalten verlangt nicht nur einen hohen negativen Steuerimpuls großer Steilheit (größer 50 A/µs), der am besten mit Leistungs-MOSFETs realisiert werden kann, sondern auch eine kurze Trägerlebensdauer, um die Rekombination der Ladungsträger zu beschleunigen und damit die Dauer des Schweifstroms, der maßgeblich die Ausschaltverluste bestimmt, gering zu halten. Das wird bei symmetrischen (rückwärts sperrfähigen) GTO-Thyristoren durch Golddotierung der n-Basis, bei asymmetrischen GTO-Thyristoren durch Anodenemitterkurzschlüsse (Anodenshortung) und zunehmend durch Protonenbestrahlung zur Rekombinationszentrenerzeugung erreicht. Zentrales Problem beim GTO-Thyristor bleibt, daß zur Vermeidung lokaler kritischer Stromdichten beim Abschalten der Anstieg der Vorwärtsspannung begrenzt werden muß. Auf einen Beschaltungskondensator, im allgemeinen eine RCD-Beschaltung, die das Bauelement von der Anschaltverlustleistung entlastet, kann deshalb nicht verzichtet werden. Die Schaltfrequenz des GTO-Thyristors ist deshalb heute noch auf etwa 1 kHz begrenzt. Die hohen Verluste in der Beschaltung zwingen zur Suche nach verlustarmen bzw. rückspeisefähigen Entlastungsnetzwerken, die jedoch einen erhöhten Aufwand bedeuten. Außerdem resultieren aus den einzuhaltenden Bedingungen beim Einsatz von GTO-Thyristoren neue Anforderungen an die passiven und aktiven Beschaltungselemente und ihren Aufbau (Induktivitätsarmut, Recovery-Verhalten) [12].

2.3. Unipolare LEBE

Bei den unipolaren LEBE dominieren die Metall-Oxid-Feldeffekt-Transistoren (Leistungs-MOSFETs) [18] wegen des stark mit der Spannung wachsenden Einschaltwiderstandes [s. Gl. (3)] für Anwendungen mit Spannungen bis 500 V, z. B. in Lampenvorschaltgeräten und Schaltnetzteilen oder wegen des ausgezeichneten Schaltverhaltens (keine Speicherladung) für Hochfrequenzanwendung, z. B. in Speisequellen für die Induktionserwärmung mit Frequenzen größer 100 kHz. Da es durch technologische Maßnahmen gelungen ist, die vom Aufbau her nicht zu vermeidende Inversdiode in ihrem Schaltverhalten an den MOSFET anzupassen (z. B. FREDFET), lassen sich unter Nutzung derselben spannungsgespeisten Wechselrichter realisieren, wie sie für die Drehstromantriebstechnik im kW-Leistungsbereich erforderlich sind und die sich aufgrund der möglichen, höheren Taktfrequenzen von z. B. 20 kHz durch Geräuscharmut (Wohn- und Bürobereich!) auszeichnen. Die mit der Parallel-

schaltung bei höheren Frequenzen verbundenen Probleme (parasitäre Elemente) werden dem Anwender abgenommen, indem potentialfreie Module von 100 V, 200 A bis 1000 V, 28 A angeboten werden. Von Vorteil ist bei diesen spannungsgesteuerten Bauelementen der geringe Steuerleistungsbedarf, der aus der Umschaltung der Ersatzkapazitäten des Bauelements beim Ein- und Ausschalten resultiert und der dieses LEBE quasi mikroelektronikkompatibel macht.

Bei einer anderen Gruppe von unipolaren LEBE, den Junction-FETs, wird der Sperrschicht-Feldeffekt ausgenutzt, um den Strom zu schalten. Typenvertreter ist der in Japan entwickelte Static Induction Transistor (SIT) [21]. Diese Bauelemente sind selbstleitend und werden durch Anlagen der Steuerspannung, die eine Raumladungszone zwiwschen Gate und Anode aufbaut, gesperrt. Ihr Ausgangssteuerkennlinienfeld ähnelt daher den einer Vakuumdiode. SIT sind bereits bis zu Drain-Strömen von 180 A und Spannungen von 1500 V verfügbar und eignen sich für Hochfrequenzanwendung über 100 kHz, wie es z. B. für die Induktionserwärmung gefordert wird.

2.4. Kombinierte LEBE

Es war naheliegend, durch Kombination von bipolaren und unipolaren Bauelementen die prinzipbedingten Vorteile, wie geringer Durchlaßspannungsabfall, geringe Ansteuerleistung und hohe Schaltgeschwindigkeit, miteinander zu verknüpfen und damit entsprechende Nachteile der einzelnen Bauelementearten zu unterdrücken. Schon die hybride Zusammenschaltung von Leistungs-MOSFETs und bipolaren Leistungstransistoren, z. B. in der BIMOS-Cascode-Schaltung, führt durch die nichtkonventionelle Ansteuerung zur Verbesserung des Schaltverhaltens und Erweiterung des sicheren Arbeitsbereichs [19].

Bei Beherrschung der MOS- und Bipolartechnologie, möglichst in einer Hand, führt die monolithische Integration unterschiedlicher Wirkprinzipien zu völlig neuen LEBE-Typen, wie sie z. B. der IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) repräsentiert (Bild 3). Er unterscheidet sich vom Leistungs-MOSFET insofern, als die drainseitige n^+-Zone durch eine p^+-Zone ersetzt wird [18], die im Durchlaßzustand aufgrund ihrer Emitterwirkung zur Ladungsträgerüberschwemmung der n^--Zone beiträgt, so daß der Einschaltwiderstand im Vergleich zum Leistungs-MOSFET herabgesetzt wird. Die durch den konstruktiven Aufbau bedingte parasitäre Thyristorstruktur und damit verbundene Gefahr des Einrastens, d. h. des Verlustes der Abschaltbarkeit, wird durch gezielte technologische Maßnahmen, wie Verringerung des lateralen Widerstands R_p durch streifenförmige Struktur und Reduzierung der Trägerlebensdauer, für die in Frage kommenden Betriebsströme verhindert. IGTBs werden bereits in Modulbauweise für 300 A und 1000 V angeboten, so daß ein zukunftsträchtiges LEBE zur Verfügung steht, das sich durch geringe Ansteuerleistung, gutes Schalt- und Durchlaßverhalten auszeichnet und sich zwischen MOSFET, Bipolartransistor und GTO-Transistor einordnet. Damit können im mittleren Leistungsbereich Antriebsumrichter, aber auch Schaltnetzteile mit Taktfrequenz bis 20 kHz und darüber realisiert werden.

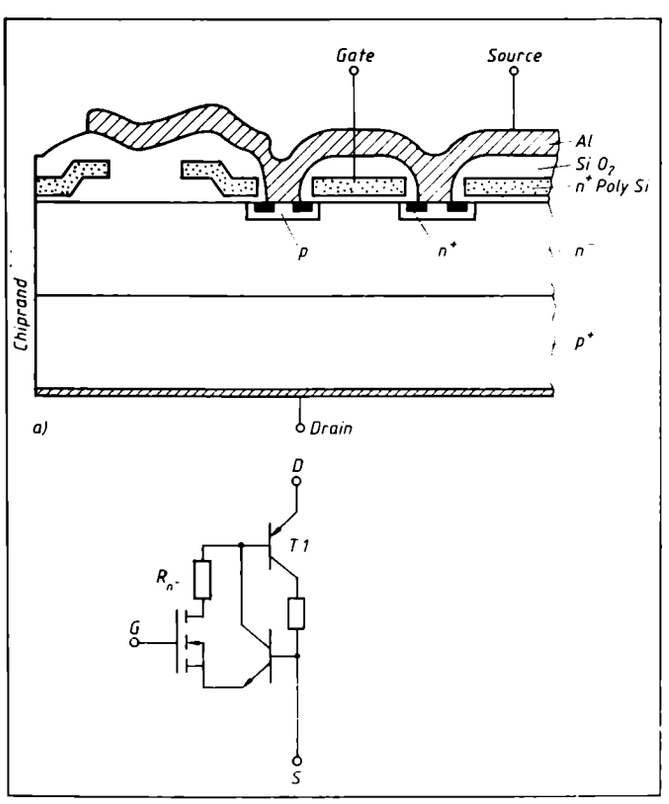


Bild 3. Prinzipieller Aufbau (a) und Ersatzschaltbild (b) eines IGBT

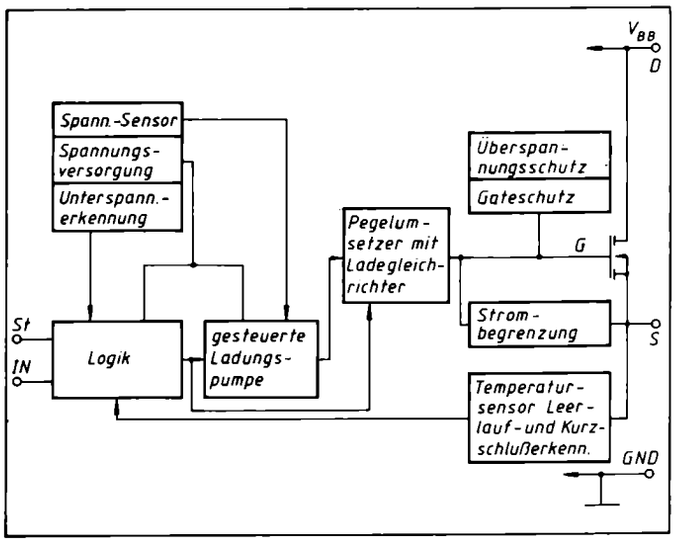


Bild 4. Blockschaltbild eines integrierten Leistungshalbleiters [20]

In analoger Weise führt die Kombination von (bipolarer) pin-Diode und Junction FET zum sogenannten Static Induction Thyristor (SITh) oder feldgesteuerten Thyristor (FCTh) [22]. Der Unterschied zum SIT besteht im Prinzip nur darin, daß die anodenseitige n^+-Zone durch eine p^+-Zone ersetzt wurde. SITh zeigen gegenüber GTO-Thyristoren verbesserte Durchlaß- und Schaltverhalten. Deshalb werden Taktfrequenzen bis 20 kHz bei vermindertem Beschaltungsaufwand möglich. Sie sind für Spannungen bis 2500 V und Ströme 300 A bekannt geworden und so für Anwendungen in Umrichtern für die Drehstromantriebstechnik geeignet.

Auch zur Kombination von GTO-Thyristoren und MOSFETs liegen erste Untersuchungen vor [15].

2.5. Integrierte LEBE

Die Entwicklung von IGBTs und in Zukunft auch von anderen kombinierten LEBE ist vor allem auch deshalb bedeutsam, weil auf ihrer Grundlage integrierte LEBE (PIC) durch Kombination mit integrierten Logikschaltkreisen (HVIC) entweder in hybrider Zusammenschaltung oder monolitisch integriert hergestellt werden können [20]. Derartige Bauelemente, die zunächst für Belange der Elektronisierung in der Automobilindustrie (60 V, 20 A) entwickelt wurden, verwirklichen zusätzlich Ansteuer-, Schutz- und Überwachungsfunktionen (Bild 4) und kommen dem idealen mikrorechnerkompatiblen Halbleiterschalter der Zukunft sehr nahe. Ihre Anwendung im unteren Leistungsbereich wird sich daher rasch auf die Automatisierungstechnik (z. B. Roboter- und Motorsteuerung) und den Haushalt- und Freizeitbereich ausdehnen.

3. Auswahlproblematik

Der dargestellte Trend zeigt, daß die Entwicklung von LEBE keinesfalls abgeschlossen ist und die Vielfalt der zur Verfügung stehenden Bauelemente ständig wächst. Die Anwendungsbereiche der neuen LEBE ergeben sich aus ihren erreichbaren Spannungs- und Stromwerten, die mögliche Schaltfrequenz aus ihrem Schaltverhalten. Die Grenzen können aufgrund der Entwicklungstendenzen nicht festgeschrieben werden. Die Ermittlung von Einsatzgrenzen wird erschwert durch

- nur bedingte Vergleichbarkeit von Grenz- und Kennwertangaben für unterschiedliche Bauelemente
- den bauelementeabhängigen Einfluß peripherer Elemente
- gegenseitige Bedingtheit erreichbarer Parameter
- Schaltungsabhängigkeit der Bauelementebelastung.

Vor allem für die begründete Auswahl der LEBE in konkurrieren-

den Bereichen ist die Gegenüberstellung von Bauelementeeigenschaften allein nicht ausreichend, sondern es müssen der komplette Halbleiterschalter einschließlich Ansteuer- und Lastbedingung sowie evtl. erforderliche Beschaltung untersucht werden. Vielfach entscheiden Kosten und Verfügbarkeit über die Einführung neuer LEBE in die leistungselektronische Praxis [12].

Literatur

[1] *Kabisch, H.:* Stromrichter und drehzahlverstellbare Antriebe in der Prozeßautomatisierung. ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 3, S. 85–90
[2] *Conrad, H.; Krampitz, R.:* Elektrotechnologie. Berlin: VEB Verlag Technik 1983
[3] *Pelly, B. R.:* Leistungshalbleiter – ein Überblick. Elektronik 18 (1982) 18, S. 84–88; S. 76–82; 20, S. 71–75
[4] *Conrad, H.; Güldner, H.; Prischmann, W.:* Mikroelektronik in der Leistungselektronik. ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 5, S. 166–169
[5] *Tihanyi, J.:* Entwicklungsmöglichkeiten von Leistungshalbleitern. ntz 40 (1987) 8, S. 588–590
[6] *Güldner, H.; Köhler, U.:* Verwendung eines Einchip-Mikroprozessors in Ansteuergeräten netzgelöschter Stromrichter. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 2, S. 79–82
[7] *Krause, J.:* Mikroelektronik in der Antriebstechnik – Stand und Tendenzen. ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 3, S. 91–94
[8] *Brenner, E.; Güldner, H.:* Rechnergestützter Entwurf leistungselektronischer Schaltungen. 11. Wiss. Konferenz der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden 1987, Themengruppe A, S. 37–40
[9] *Bösterling, W.; Heising, O.:* Thyristoren noch fortschrittlich? etz 108 (1987) 19, S. 906–912
[10] *Budig, P.-K.:* Drehzahlvariable Drehstromantriebe. ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 3, S. 101–108
[11] *Lappe, R.; Conrad, H.; Kronberg, M.:* Leistungselektronik. Berlin: VEB Verlag Technik 1987
[12] *Nicolai, U.:* Zur Abgrenzung von Einsatzgebieten leistungselektronischer Halbleiterschalter. Dissertation. TU Dresden 1988
[13] ETG-Fachbericht 23 „Abschaltbare Elemente der Leistungselektronik und ihre Anwendung". Berlin, Offenbach: VDE-Verlag 1988
[14] *Rischmüller, K.:* Aufbau und Wirkungsweise bipolarer Transistoren und Darlingtons. In [13], S. 28–49
[15] *Nowak, W.-D.; Thomas, B.:* GTO – Stand der Technik und Entwicklungsmöglichkeiten. In [13], S. 86–111
[16] *Hebenstreit, E.:* SIRET – ein superschneller 1000-V-Bipolartransistor. Siemens Components 26 (1988) Special Leistungselektronik, S. 3–6
[17] *Wagner, R.:* Weiterentwicklung der Drehstrom-Antriebstechnik. ZEV-Clasers Annalen 111 (1987) 11/12, S. 418–427
[18] *Tihany, J.:* MOS-Leistungsschalter. In [13], S. 71–78
[19] *Lehnert, K.*, u.a.: Möglichkeiten der Zusammenschaltung unipolarer und bipolarer Leistungstransistoren. ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 5, S. 177–181
[20] *Leipold, L.:* Intelligente Leistungsschalter. In [13], S. 79–85
[21] *Heumann, K.; Tegtmeier, D.:* Untersuchung zum Einsatz von Static-Induction-Transistoren. 11. Wissenschaftliche Konferenz der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden 1987, Themengruppe A, S. 57–60
[22] *Gerlach, W.:* Abschaltbare Bauelemente der Leistungselektronik. In [13], S. 1–27

EA 5964

• Eine Studie über den gegenwärtigen Stand und die Aussichten der Entwicklung künftiger informationsverarbeitender Techniken wie Neurocomputer will das MITI (Ministerium für internationalen Handel und Industrie in Japan) beginnen. Dazu soll eine Arbeitsgruppe von Fachleuten aus Industrie, Wissenschaft und Regierung gebildet werden. Für die vorbereitenden Untersuchungen will das Ministerium 22 Mill. Yen beantragen. Die Studie soll sich mit den Möglichkeiten der Entwicklung von Computern auf der Grundlage neuester Technik wie Neurocomputer, Biocomputer und optische Computer befassen. (ADN)

• Zwei neue stromleitende Polymere, Ethan- und Butan-Tiophen-Sulfonsäure, abgekürzt P3-ETS und P3-BTS, wurden in Kalifornien (USA) entdeckt. Beide Verbindungen sind wasserlöslich, so daß filmartige Folien aus der wäßrigen Lösung gewonnen werden können. Das bedeutet eine wesentliche Vereinfachung für die Herstellungstechnik stromleitender Polymere. Die Leitfähigkeit hängt vom Sulfonat-Anteil ab und kann in weiten Bereichen variiert werden. Außerdem wirken Sulfonat-Ionen als Gegenionen in elektrolytischen Lösungen. Dadurch eignen sich diese Polymere zur Produktion von leichten „Plastik-Batterien". Durch die elektrochromen Eigenschaften der Polymere wären sie auch zur Herstellung von Anzeigetafeln geeignet. (ADN)

Neu im VEB Verlag Technik

Diskrete Optimierungsmodelle

Effektive Algorithmen und näherungsweise Lösung

Von K. Richter, P. Bachmann, St. Dempe
1. Auflage. 188 Seiten, 41 Bilder. Kunstleder.
DDR 26,— Mark; Ausland 36,— DM. Bestell-Nr. 5539026

Viele Problemstellungen der Technik, Technologie und der Ökonomie führen auf mathematische Modelle der diskreten Optimierung. Es sei hier nur auf Transportprobleme, auf günstige Ausnutzung von Fertigungsmaschinen u.ä. hingewiesen. Aber auch mit der modernen Rechentechnik können nicht alle in der Praxis auftretenden Probleme mit den üblichen Lösungsverfahren mit vertretbarem Aufwand gelöst werden. Deshalb entwickelten die Autoren anwendungsreife effektive Algorithmen zur Lösung von Aufgaben der diskreten Optimierung, wie sie bei Reihenfolgeproblemen, komplizierten Zuordnungsproblemen u.ä. auftreten, für die der numerische Aufwand mit den bisherigen Verfahren zu hoch ist. Auch für diskrete Optimierungsaufgaben, die mit nur gering veränderten Parametern tausendfach zu lösen sind, wurden effektive Algorithmen entwickelt, deren Aufwand sich gut abschätzen läßt.
In diesem Buch werden speziell effektive Algorithmen für so wichtige Probleme, wie die optimale Aufteilung der Jahresproduktion auf Monate, die optimale „Echtzeit"-Steuerung integrierter Fertigungsabschnitte und den optimalen Einsatz von Robotern angegeben. Die von den Autoren erarbeiteten Computerprogramme sind wegen ihrer Komplexität nicht in das Buch aufgenommen worden.
Die Anwender anderer Gebiete werden bald merken, daß vielfältige weitere Probleme auf die gleichen mathematischen Modelle führen und somit ebenfalls mit diesen Algorithmen gelöst werden können.

Demnächst erscheinen:

Digitale Automaten

Von M. Krapp
1. Auflage. 244 Seiten, 153 Bilder. Leinen. DDR 30,— Mark; Ausland 42,— DM. Bestell-Nr. 5539034

Der Autor legt die Grundprinzipien digitaler Systeme systematisch dar mit dem Ziel, die Vielfalt von Hardware- und Softwarefragen unter einem einheitlichen Gesichtspunkt zu betrachten. Das inhaltliche Spektrum reicht deshalb von der Darstellung praktischer Entwurfsverfahren über Programmierkonzepte bis hin zur Diskussion von innovativen Rechnerarchitekturen. Die vom Autor gewählte didaktisch/methodische Basis ist die Theorie digitaler Automaten in Verbindung mit einer in Lehre und Forschung bewährten, praxisorientierten Interpretation. Dabei ergeben sich neben den bekannten Anwendungsmöglichkeiten der Automatentheorie im Schaltungsentwurf teilweise überraschende Zugänge zu Fragen der Programmierung, der Betriebssysteme und der Rechnerarchitekturen. Viele praxisrelevante Beispiele sollen vor allem den ingenieurtechnisch orientierten Leser befähigen, die dargestellten Verfahren, Methoden und Denkmodelle kreativ auf seine Probleme zu übertragen. Nicht zuletzt erleichtern die vom Autor gewählte Systematik und entsprechende Literaturhinweise die Auswertung der Spezialliteratur.

Taschenbuch Elektrotechnik

Band 3: Bauelemente und Bausteine der Informationstechnik

Herausgegeben von Prof. Dr. sc. techn. Eugen Philippow
3., stark bearbeitete Auflage. 1184 Seiten, 1525 Bilder, 400 Tafeln, 2 Teile im Schuber. Kunstleder. DDR 44,— Mark; Ausland 64,— DM. Bestell-Nr. 5537135

Inhalt:

Fertigungstechnologien für Bauelemente und Geräte der Informationstechnik
Bauelemente der Informationstechnik
Integrierte Schaltungen
Elementarbausteine der Informationstechnik
Elementarbausteine der Mikrorechentechnik

Zur Konzeption eines Hochleistungsverstärkers für elektrodynamische Schwingungserreger

G. Adamski; A. Kiekbusch; D. Kusserow; Wolgast

Mitteilung der KDT-Betriebssektion des VEB Peene-Werft Wolgast

Im Zusammenhang mit neuen integrierten Treiberschaltungen, die der sicheren Ansteuerung von Leistungstransistoren dienen, rückt die Anwendung von Hochleistungstransistoren, speziell von Hochstromtransistoren, erneut und verstärkt in das Interesse der Leistungselektronik. Dieser Entwicklung soll der nachfolgende Beitrag dienen, in dem der Einsatz von Hochstromtransistoren in einem Leistungsverstärker für elektrodynamische Schwingungserreger vorgestellt und spezifiziert auf prägnante technische Daten typischer Hochstromtransistoren näher eingegangen wird:

- Für eine elektrodynamische Schwingungsprüfanlage mit einem modifizierten Schwingtisch ST 5000 wurde ein Hochleistungsverstärker mit einer Ausgangsleistung von etwa 2,5 kVA entwickelt. Der Aufbau des Musters wird erläutert und einige technische Daten werden vorgestellt.
- Ergänzend wird eine Konzeption für einen NF-Leistungsverstärker mit einer Ausgangsleistung von 5 bis 6 kVA entwickelt und beschrieben, die auf Hochleistungstransistoren sowjetischer Produktion basiert und eine bedeutende Verringerung des Aufwandes ermöglicht.

1. Modifizierter Schwingtisch ST 5000

Um eine Umsetzung der dem Schwingtisch angebotenen elektrischen Leistung von im Mittel etwa 2,5 kVA bei einer maximalen Leistung von 3,1 kVA mit möglichst gutem Wirkungsgrad zu erreichen, wurde der Schwingkopf entsprechend modifiziert.
Der Schwingkopf verfügt über einen Schwingspulenträger in Form eines dünnwandigen Aluminiumrohres, das für die Schwingspule eine Kurzschlußwindung darstellt und zugleich durch seine geschwindigkeitsproportionale Dämpfung zur Linearisierung des Frequenzganges beiträgt. Die Schwingspule besteht aus zwei Lagen Kupferflachdraht und ist mit dem Spulenträger mit Epoxydharz verklebt. Die Stromzuführung erfolgt über Messingbandfedern. Die Aufhängung und Zentrierung des Schwingkopfes besteht aus 8 zweilagigen Halbrundblattfedern, die über den Umfang des Schwingkopfes gleichmäßig verteilt sind. Die Halbrundblattfedern und Messingbänder der Stromzuführung sind mit Dämpfungsmaterial umhüllt, um die Eigenresonanzen, die sonst in kurzer Zeit zu ihrer Zerstörung führen würden, zu bedämpfen.
Im Bild 1 ist der Betrag der Schwingspulenimpedanz unter verschiedenen Betriebsbedingungen über der Frequenz dargestellt. Bei forcierter Luftkühlung ist ein mittlerer Dauerstrom von 120 A für die Schwingspule zulässig.

2. Leistungsverstärker LV 2500

Ausgehend von den am betriebenen modifizierten Schwingtisch gemessenen Parametern wurde ein Leistungsverstärker dimensioniert und aufgebaut, der aus den Baugruppen Treiber, Endstufe, Stromversorgung und Sicherheitseinrichtungen besteht.

2.1. Treiber

Der Treiber basiert auf den Angaben in [1] und wurde entsprechend [2] und [3] realisiert. Lediglich für die Endtransistoren der Treibereinheit wurden gegenüber [2] und [3] Transistoren BD 237 (npn) und BD 238 (pnp) (UVR) mit höherer zulässiger Verlustleistung eingesetzt, ausgesucht nach Paarigkeit und möglichst hoher zulässiger Kollektor-Emitter-Spannung. Sie sind durch andere äquivalente Typen, z. B. KT 816 (pnp) und KT 817 (npn), (UdSSR), ersetzbar.

2.2. Endstufe

Die Endstufe besteht aus 2×40 parallelgeschalteten Transistoren des Typs KD 503, (ČSSR), die in Gruppen zu je 5 Transistoren aufgeteilt sind. Jeweils zwei dieser Gruppen werden von einem Treibertransistor KD 503 angesteuert. Jede Gruppe ist durch spezielle 16-A-Feinsicherungen vor zu hohem Dauerstrom geschützt. Sämtliche Basiszuleitungen sind verdrosselt, um die Schwingneigung zu verringern. Für eine gleichmäßige Stromverteilung auf die 2×40 Endstufentransistoren sorgen Emitterwiderstände. Je 40 Endtransistoren sind mit ihren 4 Treibertransistoren auf einer entsprechenden Aluminiumplatte (Kühlkörper) montiert. Die Stromzuführung und Verbindung mit dem Lastwiderstand erfolgt über Schraubverbindungen, die Signalzuführung und Verbindung mit den Sicherheitseinrichtungen übernehmen Steckverbinder.
Beide Endstufenhälften befinden sich voneinander isoliert in einem Ölbad, das die aufgenommene Verlustwärme der Transistoren an einen Wasserkreislauf abgibt [4]. Diese Endstufe ermöglicht eine mittlere Ausgangsleistung von etwa 2,5 kVA. Die maximale an den Schwingtisch abgegebene Leistung ist wegen der Frequenzabhängigkeit der Impedanz der Schwingspule ebenfalls von der Frequenz abhängig und im Bild 2 dargestellt.

2.3. Sicherheitseinrichtungen

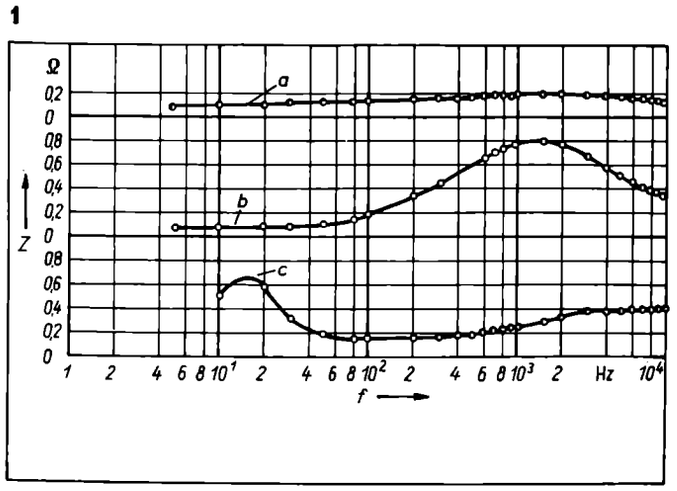
Die Endstufe wird durch spezielle Feinsicherungen und eine elektronische Temperaturüberwachung des Kühlmittels (Transformatorenöl) geschützt. Der Schutz jedes einzelnen Endstufentransistors durch Strom- oder Temperaturüberwachung ist aus Kostengründen nicht vertretbar. Außerdem hat sich gezeigt, daß bekannte Schutzvorrichtungen, z. B. Kontrolle des Emitterstroms und Zusteuern der Treiber bei Überschreitung des zulässigen Wertes, nicht einsetzbar

Dipl.-Phys. *Gerd Adamski*, Dipl.-Phys. *Arno Kiekbusch*, Dipl.-Ing. *Dietmar Kusserow*, VEB Peene-Werft Wolgast

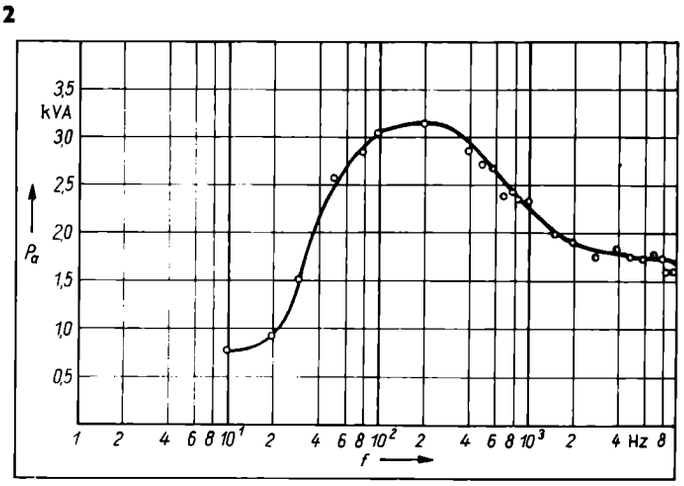
Bild 1. Schwingspulenimpedanz
Gleichstromwiderstand $R_e = 0{,}05\ \Omega$; Eigenresonanz des mechanischen Systems $f_e = 19$ Hz; Güte $Q = 1{,}4$
a außerhalb des Magnetsystems (I_s = const = 25 A)
b im Magnetsystem ohne Erregerfeld (I_s = const = 25 A)
c mit Erregerfeld bei Vollaussteuerung des Leistungsverstärkers

Bild 2. Verstärkerausgangsleistung bei Vollaussteuerung

1



2



waren, da die durch die zusätzlichen Verkopplungen hervorgerufene Schwingneigung nicht mehr unterdrückt werden konnte. Darüber hinaus haben sich die erwähnten Maßnahmen als völlig ausreichend erwiesen, weil jeder einzelne Endstufentransistor unterhalb seiner zulässigen Parameter belastet wird.

2.3.1. Sicherungen

Unzulässige Stromspitzen längerer Dauer oder Überstrombelastungen infolge defekter Transistoren führen zum Abschmelzen der speziellen 16-A-Feinsicherungen in der gemeinsamen Emitterleitung von jeweils 5 Endstufentransistoren. Das führt zum Ansprechen einer Überwachungsschaltung nach [5] (Bild 3), wodurch die gesamte Stromversorgung abgeschaltet wird. Die erneute Inbetriebnahme ist erst nach Beheben des Defekts möglich.

2.3.2. Temperaturüberwachung

Mit Hilfe eines Thermistors wird die Temperatur des Ölbades, das unmittelbar die Endstufentransistoren kühlt, überwacht. Erreicht das Ölbad eine Temperatur von 60 °C, wird die Stromversorgung abgeschaltet. Die Überwachungsschaltung [5] mit dem integrierten Schaltkreis A 301 ermöglicht ein erneutes Einschalten erst nach entsprechender Abkühlung. Das Prinzipschaltbild dieser Baugruppe zeigt Bild 4.

2.4. Stromversorgung

Der Leistungsverstärker sowie die Erregerwicklung des Schwingtisches ST 5000 werden über zwei 2,5-kVA-Drehstromtransformatoren gespeist. Die sekundäre Leiter-Leiter-Spannung beträgt 33 V. Die Gleichrichtung erfolgt über zwei ungesteuerte Sechspuls-Brückenschaltungen. Nach der Siebung durch je eine Kondensatorenbatterie von $15 \times 4700\,\mu F$ stehen unstabilisierte Gleichspannungen von $\pm$ 40 V zur Verfügung. Um zu vermeiden, daß der Aufladestromstoß dieser Kondensatoren die Gleichrichter zerstört, sind zur Begrenzung der Stromanstiegsgeschwindigkeit Drosseln vorgesehen, die mit Freilaufdioden beschaltet sind. Die Erregerwicklung des Magnetsystems des Schwingtisches wird bei einer Spannung von 80 V mit etwa 1 kVA gespeist [7]. Da sie für das Netzteil eine konstante Vorlast darstellt, verringert sich die Differenz der Betriebsspannung zwischen Leerlauf und Nennlast erheblich, was eine günstigere Dimensionierung der Parameter des Leistungsverstärkers ermöglicht.

Außerdem verbessert die Erregerspule als induktiver Energiespeicher das dynamische Verhalten des Leistungsnetzteiles. Da Leistungsverstärker und Erregerspule beim Abschalten nicht voneinander getrennt, sondern die Netzteile lediglich primärseitig ausgeschaltet werden, ist die Erregerspule ebenfalls mit einer Freilaufdiode versehen, wobei ein Widerstand den Strom auf einen zulässigen Wert begrenzt.

Der Treiber und die Sicherheitseinrichtungen werden aus einem gesonderten Netzteil betrieben, das stabilisierte Ausgangsspannungen von $\pm$45 V und + 12 V liefert.

Tafel 1. Technische Daten des sowjetischen Hochleistungstransistors TK 100

I_C	= 100 A	$U_{EB\,max}$	= 4 V
U_{CEO}	= 200 V	I_B	= 20 A
h_{21E}	= 10 bis 100	$P_{C\,max}$	= 500 W
$\vartheta_{j\,max}$	= 150 °C	R_{thjC}	= 0,25 K/W

Tafel 2. Technische Daten des Hochleistungsverstärkers ESM 1000
(Abweichungen gegenüber Tafel 1)

I_C	= 150 A	I_B	= 15 A
U_{CEO}	= 100 V	$P_{C\,max}$	= 400 W
$U_{EB\,max}$	= 7 V	R_{thjC}	= 0,44 K/W

3. Konzeption eines Hochleistungsverstärkers für 5 bis 6 kVA Ausgangsleistung

Mit dem beschriebenen Leistungsverstärker LV 2500 sind die Grenzen für einen vertretbaren Bauelementeaufwand erreicht. Die Parallelschaltung einer derartig großen Anzahl von Transistoren bereitet erhebliche Probleme bei der Auswahl der Transistoren, um annähernde Paarigkeit der beiden Endstufentransistorenhälften zu erreichen, und bzgl. der aufwendigen Verdrahtung. Die Kühlung, gleichmäßige Lastverteilung und Schutzmaßnahmen der Leistungstransistoren erfordern zusätzliche komplizierte konstruktive und schaltungstechnische Lösungen.

Insbesondere bringt die Parallelschaltung eine stark erhöhte Schwingungsneigung mit sich, deren Beseitigung ein besonders diffiziles Problem darstellt.

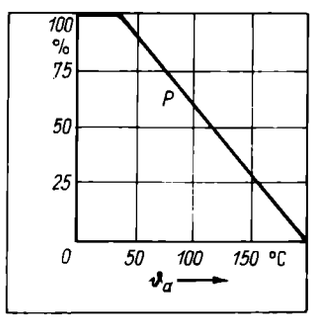


Bild 5. Maximale Verlustleistung in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur ϑ_a

Bild 6. SOAR-Diagramm ESM 1000
Umgebungstemperatur 25 °C
——— Gleichstrombetrieb;
– – – Pulsbetrieb

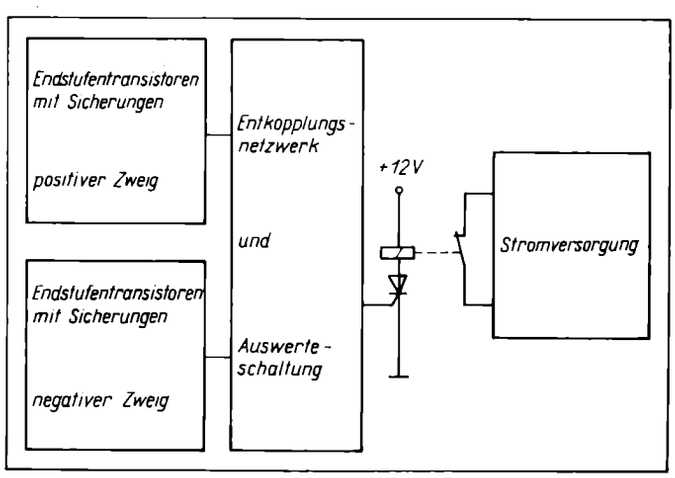


Bild 3. Blockschaltbild Transistorausfall

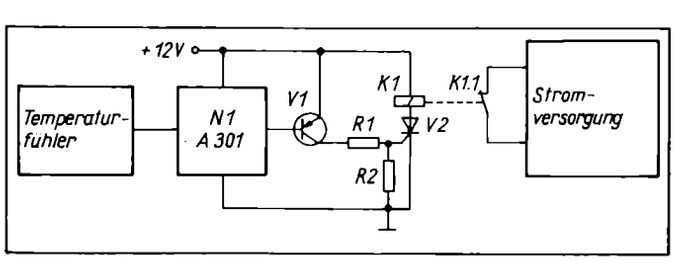
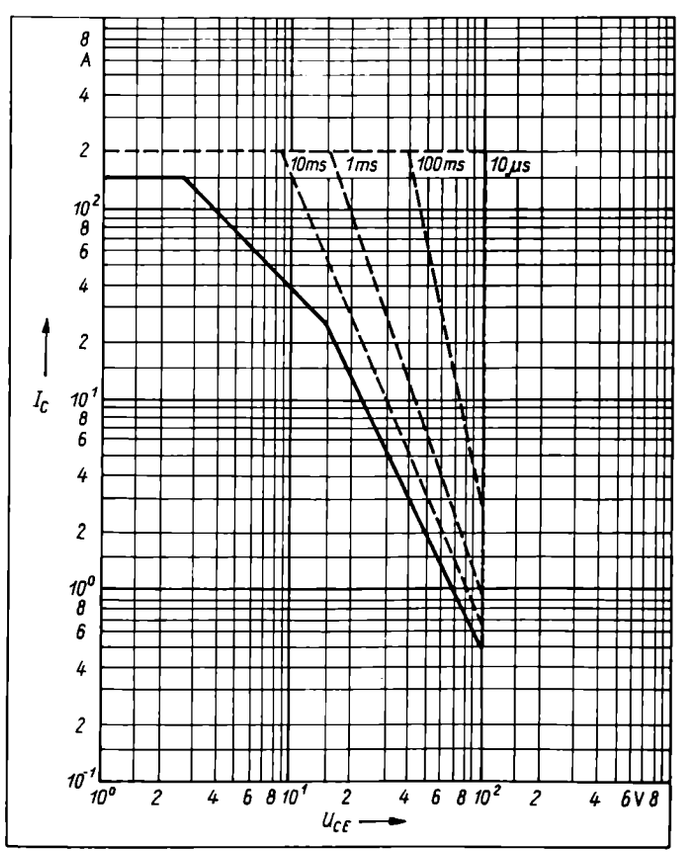


Bild 4. Prinzipschaltbild Temperaturüberwachung



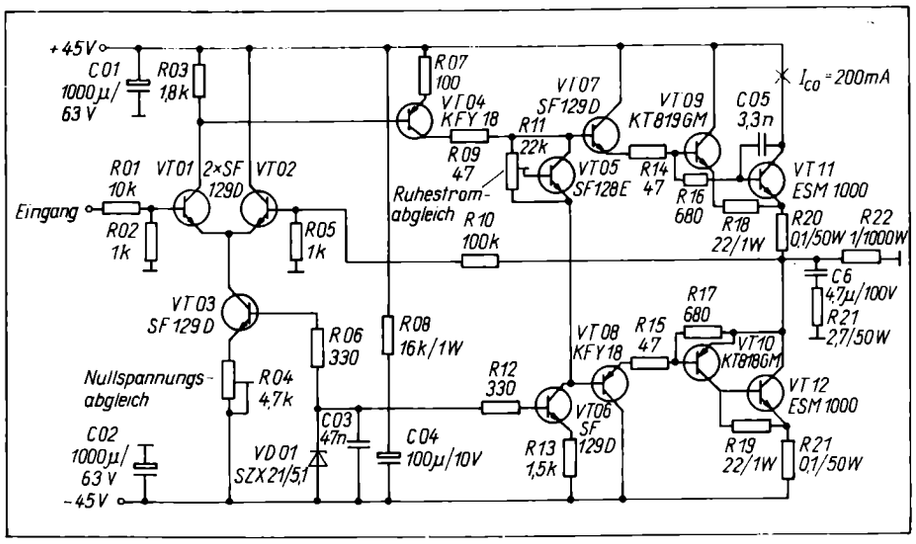
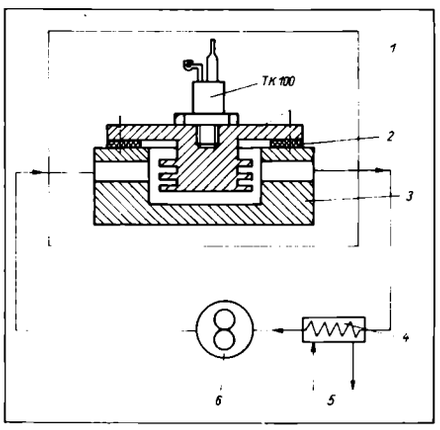


Bild 7. Leistungsverstärker zur Erprobung der Hochleistungstransistoren ESM 1000

Bild 8. Kühlung der Hochleistungstransistoren
1 Kühlkörper; 2 Isolierung; 3 Grundkörper; 4 Ölkörper; 5 Wasser; 6 Pumpe



Neuerdings zur Verfügung stehende Hochleistungstransistoren eröffnen Möglichkeiten, bei wesentlich verringertem Aufwand erheblich höhere Ausgangsleistungen zu erzielen.

3.1. Einsatzmöglichkeiten von Hochleistungstransistoren

Bisher bekannt sind der Hochleistungstransistor ESM 1000 von Thomson CSF (Frankreich) und die Typen der TK-Serie aus der sowjetischen Produktion. Am geeignetsten für den Einsatz in NF-Hochleistungs-Verstärkern erscheint der Typ TK 100. Die in Tafel 1 angeführten Daten sind dem vorläufigen Datenblatt entnommen. Vom Applikationszentrum Berlin wurden vorerst einige Hochleistungstransistoren des Typs ESM 1000 für grundlegende Eignungsuntersuchungen [8] bereitgestellt. Die sowjetischen Transistoren TK 100, auf die für den Hochleistungsverstärker orientiert wurde, standen z. Z. noch nicht zur Verfügung.
In Tafel 2 sind einige der Daten, die von denen des TK 100 abweichen, aufgeführt. Außerdem waren für den ESM 1000 mit Bild 5 die maximale Verlustleistung und mit Bild 6 das SOAR-Diagramm gegeben.
Nach Bild 7 wurde ein Leistungsverstärker aufgebaut und erprobt. Der Treiber ist gegenüber [1] [2] [3] geringfügig verändert. Mittenspannung und Ruhestrom sind unabhängig voneinander einstellbar. Die Transistoren VT 01 und VT 02, VT 07 und VT 08, VT 09 und VT 10 sind jeweils paarweise ausgemessen. Zur Ansteuerung der Endstufe wird ein leistungsstärkeres Komplementärpaar verwendet, das mit auf der Kühlvorrichtung der Endstufentransistoren montiert wurde. Bei forcierter Kühlung wird an ohmscher Last eine Ausgangsleistung von 650 VA gemessen. Die obere Grenzfrequenz bei Vollaussteuerung liegt bei 11 kHz.
Der Probebetrieb wurde ohne Sicherheitseinrichtungen durchgeführt, lediglich die Temperatur der Kühlkörper wurde ständig überwacht. Entsprechende Überwachungs- und Sicherheitseinrichtungen sind auf Grund der geringen Anzahl der für einen 5- bis 6-kVA-Verstärker erforderlichen Endstufentransistoren relativ einfach realisierbar und sollten zweckmäßigerweise für jeden einzelnen Endstufentransistor vorgesehen werden.

3.2. Lastwiderstand

Die maximale Ausgangsleistung eines NF-Verstärkers nach Bild 7 ohne Berücksichtigung der Kollektor-Emitter-Restspannungen und ähnlich wirkender Faktoren beträgt

$$P_a = \frac{U_B^2}{8\,R_L}. \tag{1}$$

In der Praxis werden etwa 65 bis 75% dieses Wertes erreicht. Mit $P_a = 8000$ VA (65% = 5200 VA) ergibt sich nach (1) ein Lastwiderstand von $R_L = 0{,}1\ \Omega$ bei einer Betriebsspannung von 80 V. Damit werden die geforderten 5 bis 6 kVA garantiert erreicht.

3.3. Kühlung

Für die Praxis ausreichend genau ergibt sich die Verlustleistung für einen in einer Gegentaktenstufe arbeitenden Transistor zu

$$P_v \approx 0{,}22\,P_a. \tag{2}$$

Damit läßt sich der Wärmewiderstand $\frac{R_{th}}{n}$ (n Anzahl der parallelgeschalteten Transistoren) bei gleichmäßiger Wärmeverteilung bestimmen:

$$\frac{R_{th}}{n} = \frac{\vartheta_j - \vartheta_a}{0{,}22\,P_a}; \tag{3}$$

ϑ_j maximale Sperrschichttemperatur (lt. Datenblatt TK 100 = 150 °C)
ϑ_a maximale Umgebungstemperatur (etwa 45 °C)
P_a maximale Ausgangsleistung (etwa 6000 VA)

Es ergibt sich:

$$\frac{R_{th}}{n} = 0{,}08\ \mathrm{K/W}.$$

Bei der Parallelschaltung von 10 Transistoren beträgt der Gesamtwärmewiderstand je Transistor 0,8 K/W. Damit darf für den TK 100 der Wärmewiderstand des Übergangs Gehäuse — Kühlmittel einen Wert von 0,55 K/W nicht übersteigen. Dieser Wert läßt sich mit einer Flüssigkeitskühlung ohne Schwierigkeiten erreichen.
Im Bild 8 ist in Anlehnung an [4] eine derartige Kühlvorrichtung prinzipiell dargestellt. Die unmittelbare Kühlung der isoliert montierten Endstufentransistoren erfolgt durch eine nicht elektrisch leitfähige Flüssigkeit, z. B. Transformatorenöl, das die aufgenommene Wärme, z. B. an einen Wasserkreislauf, weitergibt. Bei der Erprobung der Hochleistungstransistoren ESM 1000 wurde eine derartige Kühlvorrichtung eingesetzt und erfolgreich getestet.

4. Zusammenfassung

Neben der Realisierung eines 2,5-kVA-Leistungsverstärkers für einen modifizierten Schwingtisch ST 5000 wurde untersucht und gezeigt, daß der Aufbau eines NF-Hochleistungsverstärkers, speziell für leistungsstarke elektrodynamische Schwingungserreger, mit Ausgangsleistungen im Bereich 5 bis 6 kVA auf der Basis von Hochleistungstransistoren technisch mit z. Z. vertretbarem Aufwand realisierbar ist.
Unberücksichtigt blieb die konstruktive Lösung hinsichtlich eines praktisch einsetzbaren Musters. Außerdem kann eingeschätzt werden, daß für die weitere Bearbeitung dieser Problematik die thermischen Probleme bei der Dimensionierung der Endstufe und der Schwingspule dominant sind sowie die hohe Belastung des Primär-Drehstrom-Netzes von Bedeutung ist.

Literatur

[1] *Ratzki, W.; Keck, J.:* Leistungsverstärker 2 × 60 W für den Selbstbau. Funktechnik 26 (1971) 5, S. 177 – 180
[2] *Kadner, S.:* 1000-VA-Leistungsverstärker und Gleitsinusgenerator für Schwingprüfanlage. radio fernsehen elektronik, Berlin 25 (1976) 14, S. 467 – 470
[3] *Borgelt, D.; Kiekbusch, A.:* LV 1200 — Ein Leistungsverstärker in Brückenschaltung. radio fernsehen elektronik, Berlin 27 (1978) 11, S. 697 – 700
[4] *Kiekbusch, A.; Borgelt, D.; Böhme, M.:* Kühlvorrichtung für Leistungshalbleiterbauelemente. Patentschrift WP H 01L/144 624
[5] *Borgelt, D.; Kiekbusch, A.:* Hochleistungsverstärker LV 1200 — neu konzipiert. radio fernsehen elektronik, Berlin 29 (1980) 10, S. 670 – 674
[6] *Buttgereit, D.; Haberlandt, K.-M.:* Information-Applikation Mikroelektronik 2: Aufbau, Eigenschaften und Anwendungen des integrierten Initiator-Schaltkreises A 301 D. VEB Halbleiterwerk Frankfurt (Oder)
[7] *Kiekbusch, A.; Kusserow, D.:* Modifizierende Experimente am Schwingungserreger ST 5000. Feingerätetechnik, Berlin 30 (1981) 10, S. 476 – 477
[8] *Kusserow, D.:* Erprobungsbericht des Transistors ESM 1000. VEB Peene-Werft Wolgast

EA 5969

Beitrag zur Verarbeitung und Fügetechnik von Stromschienen aus der Leitlegierung AlFeMg-E

G. Jacobi, KDT; H. Schneider, KDT; H. Hackenberg; Freiberg

Mitteilung aus dem VEB Mansfeld Kombinat Wilhelm Pieck, Forschungsinstitut für Nichteisenmetalle Freiberg

Die traditionellen Leiterwerkstoffe Kupfer und Aluminium werden auch zukünftig die dominierenden Werkstoffe für den Transport von Elektroenergie bleiben. Die Metallurgie der DDR hat für diese Leiterwerkstoffe die gesamtwirtschaftliche Versorgungs- und Bilanzverantwortung. Da der DDR-Bedarf speziell an Buntmetallen auch perspektivisch mit beträchtlichen NSW-Importen abgedeckt werden muß, kommt der weiteren Substitution und dem materialökonomischen Einsatz von Leiterwerkstoffen zur Minimierung der Importaufwendungen eine ständige volkswirtschaftliche Bedeutung zu. Die Metallurgie der DDR unterstützt diese Bemühungen durch Entwicklung und Produktionsaufnahme von höherfesten Stromschienen aud der Leitlegierung AlFeMg-E. Damit der neue Werkstoff in der Starkstromtechnik zur Verbesserung der Material- und Energieökonomie sowie zur Erhöhung der nutzbaren Anlagen-Lebensdauer optimal beiträgt, müssen bei der Verarbeitung, Montage und Fügetechnik werkstoff- und eigenschaftsbezogene Aspekte unbedingt eingehalten werden.

1. Leiterwerkstoff AlFeMg-E

Die Elektroindustrie der DDR betreibt schon Jahrzehnte kontinuierlich die Substitution des knapper verfügbaren Leiterwerkstoffs Kupfer durch vorwiegenden Einsatz von Reinaluminium (Al 99,5 E) und nimmt in der praktischen Umsetzung international gesehen eine Spitzenstellung ein. Substitutionsmöglichkeiten durch den bloßen Metallaustausch sind so bereits ausgeschöpft. Für die weitere Kupfersubstitution wird deshalb ein spezifisch weiterentwickelter Aluminiumwerkstoff gefordert, der sich besonders in den einsatzbestimmenden mechanischen Eigenschaften, wie 0,2-Dehngrenze, Warmfestigkeit, Zeitstandverhalten, Kriechbeständigkeit, Biegeverhalten, mit höheren Kennwerten vom Al 99,5 E unterscheidet, aber wie bisher eine gute elektrische Leitfähigkeit hat.
Das Forschungsinstitut für NE-Metalle Freiberg hat dazu Aluminium-Leitlegierungen für Leitdraht [1] [2] und Leitschienen [3] entwickelt und als Sortimentserweiterung Flachstangen aus der Leitlegierung AlFel,3Mg0,3-E in die Produktion des VEB Chemiekombinat Bitterfeld [4] übergeführt, im praktischen Einsatz langzeitig erprobt sowie Applikationsergebnisse und -empfehlungen publiziert [5] [6]. Für Stromschienen aus dieser AlFeMg-Leitlegierung werden im Abmessungsbereich 5 bis 10 mm dick und 40 bis 80 mm breit folgende Kennwerte bei 20 °C gewährleistet [4]:

— 0,2-Dehngrenze ($R_{p0,2}$)	80 bis 120 MPa
— Zugfestigkeit (R_m)	110 bis 160 MPa
— Bruchdehnung (A_5)	$\geqq$ 15%
— elektrische Leitfähigkeit ($\varkappa$)	$\geqq$ 30 MS/m
— Brinellhärte (HB, $K = 5$)	32 bis 45 (Richtwert).

Mit dieser AlFel,3Mg0,3-Leitlegierung im Sortiment Flachstange stellt die DDR-Metallurgie der Elektrotechnik einen neuen Werkstoff zur Verfügung, der wesentliche Vorteile in der Temperaturbeständigkeit, der verbesserten mechanischen Eigenschaften (Bild 1) sowie hohe Warmfestigkeit (Bild 2) und Kriechbeständigkeit hat. Bild 3 belegt, daß die Höhe der Druckspannung bei Fließbeginn[1]) für AlFeMg-E bis 150 °C Prüftemperatur kaum einem temperaturbedingten Abfall unterliegt und damit dieser Werkstoff auch unter extremen Einsatzbedingungen — wie Übertemperaturen bei hoher Betriebsstrombelastung — die ausgezeichnete Wärme- und Kriechbeständigkeit behält.

Dr. sc. techn. *Günter Jacobi* ist Bereichsleiter NE-Werkstoffentwicklung; Ing. *Heinz Schneider* ist Gruppenleiter Werkstoffprüfung; Dipl.-Met. *Heinz Hackenberg* ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Forschungsinstitut für Nichteisenmetalle Freiberg.

[1]) meßtechnisch ermittelte 0,02-%-Stauchgrenze

Bild 1
Entfestigungsverhalten einer stranggepreßten Flachschiene 80 mm × 10 mm aus AlFel, 3 MgO,3-E; Haltedauer 2 h; Prüftemperatur 20 °C

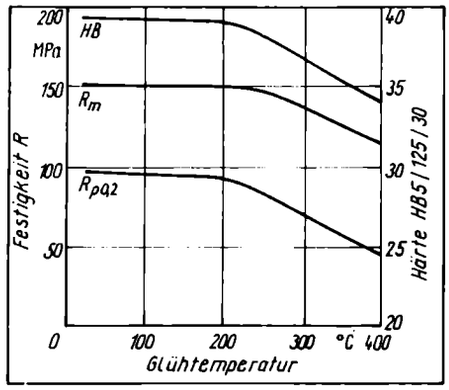


Bild 2
Festigkeit und Bruchdehnung im Temperaturbereich −60 bis 175 °C für AlFel, 3Mg0,3-E (stranggepreßte und gereckte Flachstange 80 mm × 10 mm)

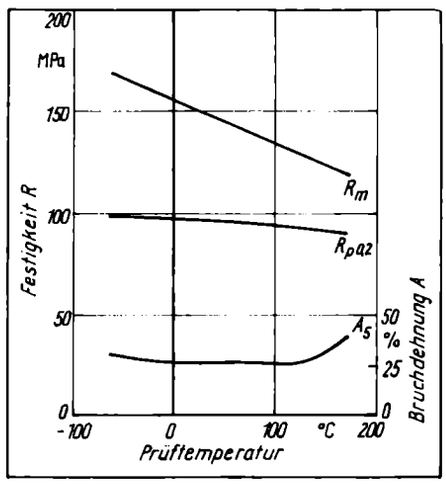
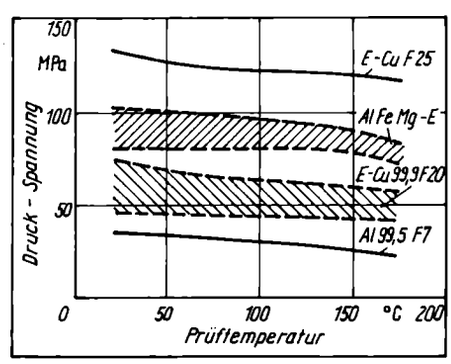


Bild 3
0,02-%-Stauchgrenze in Abhängigkeit von der Prüftemperatur; für AlFeMg-E und E-Cu99,9F20 an Realbautellen (gebohrte Schienen) gemessen



Damit diese mit Kupfer vergleichbaren Stromschieneneigenschaften auch optimal und langzeitig wartungsfrei für einen verlustarmen Elektroenergietransport wirksam bleiben, müssen an die Verarbeitung und Fügetechnik dieses Aluminium-Werkstoffs z. B. bei der Vorbereitung der Anlagenmontage und bei der Ausführung von Stromschienenverbindungen besondere Forderungen gestellt werden. Die folgenden bisherigen verarbeitungstechnischen Erfahrungen/Empfehlungen sollen besonders den Praktikern im Montage- und Instandhaltungsbereich mit den Besonderheiten des neuen Werkstoffs vertraut machen und fachspezifische Unterstützung geben.

2. Verarbeitungshinweise

2.1. Transport und Lagerung

Zum Schutz vor Nässe und Beschädigungen sollen Stromschienen aus AlFeMg-E möglichst verpackt zum Versand gelangen. Sie sind in trockenen und belüfteten Lagerräumen geschützt vor Nässe, mechanischen Beschädigungen und der Einwirkung chemischer Medien auf sauberen, trockenen Holzunterlagen so zu lagern, daß Deformationen durch die Eigenmasse nicht auftreten. Beim Transport naßgewordenes Halbzeug sollte aus nasser Verpackung sofort entfernt und vor dem Einlagern getrocknet werden.

Auf Stromschienen, die beim Transport oder der Lagerung stark abgekühlt sind, kann sich beim Umschlagen in beheizte Lager- oder Werkstatträume Schwitzwasser bilden, das bei langzeitiger Einwirkung die für Al-Werkstoffe charakteristische oberflächige Korrosion verursacht.

2.2. Trennen und Bohren

Stromschienen aus AlFeMg-E stehen als Flachschienen in Lieferlängen bis zu 5 m zur Verfügung. Eine erforderliche weitere spanende Bearbeitung durch Sägen, Trennschleifen oder Bohren ist wegen der leichten Bearbeitbarkeit auch dieses Al-Werkstoffs unkompliziert mit angepaßten Werkstattausrüstungen möglich. Empfohlene Bohrer für Aluminium unterscheiden sich von den Bohrern für Stahl hauptsächlich durch ihren größeren Drallwinkel bis zu 45°, gegenüber 25° bei Stahl. Für diese Bohrer gelten die Forderungen: scharfe Schneidkante, polierte Spanfläche und Spannuten, vergrößerter Raum für den Späneabfluß. Zum Trennen von Flachstangen werden Kreis- oder Bandsägen eingesetzt. Das Sägen mit Bügelsäge kommt für Aluminium nur bei gelegentlichen Trennen in Frage, da die erreichbaren Schnittgeschwindigkeiten zu niedrig sind. Zur Kühlung und Schmierung sollte für diese Bearbeitungsverfahren mit höheren Reibanteilen eine 5- bis 8%ige Emulsion, Spiritus oder Petroleum verwendet werden. Als sehr vorteilhaft kann auch das Trennschleifen mit Korundscheiben mit Gummibindung (Naßschleifen) oder Kunstharzbindung (Trockenschleifen) empfohlen werden. Für Al-Werkstoffe sind hier Umfangsgeschwindigkeiten von 40 bis 80 m/s anzuwenden. Der beim Trockenschleifen von Aluminium entstehende Staub ist brennbar und im Gemisch mit Luft explosionsfähig. Zur Vermeidung der Gefahren von Staubbränden und -explosionen ist auch beim Schleifen von Aluminium die TGL 30235/01[2]) [7] zu beachten.

2.3. Biegen

Auf Grund der guten Dehnungswerte sind Flachstangen aus AlFeMg-E vorzüglich biegbar. Beim Kaltbiegen soll der kleinste Biegeradius bei Flachkantbögen etwa die 1,2- bis 1,5fache Schienendicke und bei Hochkantbögen etwa die Schienenbreite betragen. Als Biegeradius ist stets der Innenradius zu verstehen. Weiterhin ist zu beachten, daß infolge der elastischen Rückfederung für die angestrebte Biegung ein größerer Biegewinkel erforderlich ist. Sind für besonders schwierige Einbaubedingungen kleinere Biegeradien erforderlich, so können Schienen aus AlFeMg-E durch kurzzeitig örtliche Erwärmung der Biegestelle auf 250 bis 300 °C auch warmgebogen werden. Für solche und andere spezielle Einsatzfälle sind Flachstangen mit abgerundeten Kanten, analog TGL 4196/02 [8], vorgesehen.

2.4. Kontaktflächenbehandlung

Bei stromführenden Schraubverbindungen hat der Oberflächenzustand der Kontaktflächen einen wesentlich größeren Einfluß auf den Übergangswiderstand als ihre Größe oder der Kontaktdruck. Aus diesem Grunde müssen auch bei Leitschienen aus AlFeMg-E zur Beseitigung der Oberflächenoxidschicht einschließlich Schaffung zahlreicher Mikrorauheiten auf den Kontaktflächen die bei Schienen aus Al99,5E als günstig erkannten Vorbehandlungen [9] eingehalten werden. Kurzzeitig vor dem Verschrauben sollten die Kontaktflächen sorgfältig von Schmutz und Fett gereinigt und mit Spezialfeile oder scharfer Stahldrahtbürste im Kreuzstrich aufgerauht werden. Zur Verzögerung einer Neubildung der Oxidschicht ist unmittelbar anschließend eine dünne Schicht säurefreien Fettes (Kontaktfett, neutrale Vaseline) aufzutragen. Die Aufrauhung der Kontaktflächen erhöht beträchtlich die Anzahl der möglichen „Kontaktspitzen", die beim Zusammenschrauben der Verbindung durch ihr plastisches Eindrücken unter Luftabschluß zahlreiche Mikrokontakte ausbilden und so zu einem niedrigen Übergangswiderstand führen. Glatte Kontaktflächen sind für den Gütefaktor weniger günstig. *Löbl* und *Böhme* [10] belegen mit Untersuchungsergebnissen, daß die vorwiegend in aufwendiger Handarbeit vom Monteur stark subjektiv beeinflußte Kontaktflächenvorbehandlung im Montagebetrieb vorteilhafter durch mechanische Bearbeitung (z. B. Rillenerzeugung im Abstand von 0,3 bis 0,5 mm mit Messerkopffräsen) erfolgen sollte. Mit solchen Bearbeitungstechnologien sind Anfangsgütefaktoren von 0,9 bis 1,1 erreichbar. Bei richtiger Ausführung der Verschraubung garantieren diese Verbindungen lange Wartungsfreiheit und niedrige Verlustleistung.

[2]) Standard gilt nicht für Arbeitsstätten, in denen weniger als 0,5 kg Aluminiumpulver je Schicht als Abfallprodukt anfallen

Für den Praktiker in der Montage ist noch folgendes Ergebnis [10] wissenswert: montagefertig vorbereitete Oberflächen, die vor der Verschraubung mit verschmutzten Händen angefaßt wurden, ergaben Gütefaktoren, die sich nicht mehr signifikant von denen ungereinigter Oberflächen unterscheiden. Bei der Schienenmontage sind solche subjektiven Einflüsse sicher auszuschalten.

2.5. Oberflächenbeschichtung

Al-Stromschienen können vorwiegend aus technisch-funktionellen Gründen — zur Verbesserung der Korrosionsschutzwirkung, des Kontaktverhaltens oder der Lötbarkeit — mit verschiedenen Metallen wie Silber, Kupfer, Nickel oder Zinn beschichtet werden. Durch die Beschichtung sind charakteristische Vorteile des Überzugsmetalls auf den Grundwerkstoff übertragbar. Aus ökonomischen Gründen erfolgt diese Beschichtung meist nur noch örtlich begrenzt an den funktionell erforderlichen Flächen. Für Stromschienen aus AlFeMg-E wurden bisher folgende Beschichtungsverfahren mit Erfolg eingesetzt:

- galvanisches (elektrolytisches) Verkupfern/Verzinnen
- chemisches (stromloses) Vernickeln
- Reibverzinnen.

Über die verfahrenstechnischen Einzelheiten der Oberflächenbeschichtung von Al-Werkstoffen wird in [11] [12] ausführlich informiert.

3. Anschluß- und Verbindungstechnik

In Nieder- und Mittelspannungsanlagen sind stromführende Schienenverbindungen und Abzweigungen überwiegend an Flachprofil-Stromschienen auszuführen. Je nach zu transportierende elektrischer Leistung werden die Schienen einzeln oder in Mehrfachlage parallel im Verbund montiert. Hauptforderungen an stromführende Verbindungen sind:

- möglichst kleiner Übergangswiderstand und damit günstiger Gütefaktor ($k_{u\,0} \leqq 1{,}5$)
- ausreichende Festigkeit/Streckgrenze im Kurzschlußfall
- stabile Eigenschaften bei Langzeitbeanspruchung durch Strombelastung, wechselnde Temperaturen, Schwingungen oder Stöße
- Wartungsfreiheit möglichst während der Gesamtlebensdauer der Anlage des Elektroenergietransports (> 20 Jahre).

3.1. Schraubverbindungen

Stromführende Schraubverbindungen werden in Starkstromanlagen vorwiegend bei kleineren bis mittleren Schienenquerschnitten in Überlappungsausführungen angewandt. Stromschienen mit großem Querschnitt verschraubt man im allgemeinen nur, wenn lösbare Verbindungen technisch unbedingt erforderlich sind.
Die Güte einer Stromschienen-Schraubverbindung im Sinne eines geringen Kontaktübergangswiderstandes wird bestimmt durch:

- die Oberflächenvorbehandlung der Kontaktstelle
- das Vorhandensein eines Mindestkontaktdruckes über die Einsatzdauer
- den Langzeitschutz vor Korrosion.

Besonders wichtig ist daher auch für Leitschienen aus AlFeMg-E die sorgfältige Oberflächenvorbehandlung der Kontaktflächen gemäß Abschn. 2.4. zur Beseitigung der natürlichen Oxidschicht, da sie einen hohen elektrischen Widerstand hat. Für besondere Anwendungsfälle, z. B. hohe Temperaturbelastungen, öfteres Öffnen der Kontaktverschraubung oder Verbindungsstellen, die für eine mechanische Oberflächenbehandlung schlecht zugänglich sind, ist der Einsatz von Stromschienen mit verzinnten Kontaktflächen vorteilhaft. Beschichtete Kontaktflächen dürfen nicht durch Feilen, Bürsten oder Fräsen bearbeitet, sondern nur mit sauberem Putzlappen abgewischt und dünn gefettet werden. Stromschienen-Lochungen und -Verschraubungen für Flachschienen aus AlFeMg-E sind analog TGL 200-0746 [13] auszuführen. Neu in Ausarbeitung befindet sich z. Z. der Fachbereichstandard TGL 36765/06 [14]. Für lösbare Stromleiterverbindungen aus Al99,5E wird in [12] [15] [16] ein Mindestkontaktdruck von 5 bis 10 MPa und für höherfeste Al-Leitlegierungen ein Wert von 15 bis 30 MPa genannt. Mit steigendem Kontaktdruck nimmt der Übergangswiderstand ab und bleibt oberhalb etwa 25 MPa nahezu konstant. Die Größe des zulässigen Kontaktdruckes wird durch die Fließ- und Kriecheigenschaften der Leiterwerkstoffe bei den höchsten Betriebstemperaturen begrenzt. Für Stromschienen aus AlFeMg-E wird ein mittlerer Kontaktdruck von 20 bis 25 MPa empfohlen. Eine wesentliche Unter- oder Über-

Tafel 1. Richtwerte für Anzugsdrehmomente in Abhängigkeit zur 0,2-Dehngrenze des Stromschienenwerkstoffs (entsprechend DIN 43673, Bl. 1)

Schraubengewinde	Anzugsdrehmoment in Nm	
	$R_{p\,0,2} < 70$ MPa	$R_{p\,0,2} \geq 70$ MPa
M 4	1,2	2,5
M 5	2,5	5
M 6	4	8
M 8	10	20
M 10	20	40
M 12	35	70
M 16	75	150

schreitung dieses Richtwertes um mehr als 10 MPa sollte aus verschiedenen Gründen nicht erfolgen. Die entsprechenden Vorspannkräfte der Schrauben sind möglichst mit Drehmomentschlüssel einzustellen. Das erfordert vielfach eine Umstellung der Montagehandhabung und setzt die Ausrüstung mit entsprechendem Werkzeug voraus. Für AlFeMg-E als höherfesten Leitschienenwerkstoff (0,2-Dehngrenze ≥ 80 MPa) werden doppelt so hohe Anziehdrehmomente[3]) empfohlen wie für den weichen Leitwerkstoff Al99,5F7 (Tafel 1). Dazu sind mindestens Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 und Muttern der Festigkeitsklasse 8 (korrosionsgeschützt) nach TGL 10826 sowie große biegesteife Scheiben und Federringe oder besser Tellerfedern bzw. Federscheiben anzuwenden. In den meisten Fällen müssen also Federelemente vorgesehen werden, damit auch bei unterschiedlicher thermischer Längenänderung und Relaxation von Stromschienen und Schrauben eine für den verlustarmen Stromübergang ausreichende Vorspannkraft/Flächenpressung erhalten bleibt.

Eine solche Schraubverbindung von Flachschienen aus AlFeMg-E gewährleistet nach bisherigen mehrjährigen Applikationsergebnissen auch bei wechselnden Einsatztemperaturen bis 150 °C einen genügenden Kontaktdruck (20 $\pm$ 10 MPa) über die Betriebsdauer, ohne daß ein Nachziehen erforderlich wird!

Diesbezügliche verbindliche Montagefestlegungen, die den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen und bisher gewonnenen Erfahrungen entsprechen, werden vom Standard TGL 36765/06 [14] erwartet. Bei der Betrachtung des Korrosionsverhaltens von Leitschienen aus AlFeMg-E ist zwischen dem Verhalten der Stromschiene und dem der Verbindungsstelle zu unterscheiden. Blanke Al-Leiter benötigen im allgemeinen keinen Korrosionsschutz, da sie eine natürliche Deckschicht ausbilden. Schraubverbindungen erfordern bei Einsatz in trockenen Innenräumen ebenfalls keinen besonderen Korrosionsschutz. Sind Schraubverbindungen häufiger Schwitzwasserbildung oder korrosiven Umweltbedingungen ausgesetzt, so sollen die Verbindungsstellen durch einen Schutzlack vollständig und dauerhaft abgedeckt werden.

3.2. Schweißverbindungen

Nichtlösbare Stromschienen-Verbindungen sind entsprechend TGL 36765/07 [14] auszuführen. Als Schweißverfahren sind auch für Schienen aus AlFeMg-E die ohne Flußmittel möglichen Schutzgasschweißverfahren WIG oder MIG zu bevorzugen. Diese Schweißverfahren ergeben eine mechanisch und elektrisch sehr gute Verbindung, die keine weitere Wartung erfordert. Anzuwenden sind die handelsüblichen Schweißzusatzwerkstoffe

- S-AlMg3
- S-AlMg5
- S-AlSi5

nach TGL 14908/07 [17], mit denen eine Schweißnahtfestigkeit ähnlich oder höher als im Grundwerkstoff erreicht wird. Die Anwendung des Zusatzwerkstoffes S-Al99,5 sichert Leitwertgleichheit auch im Nahtbereich, ist aber mit einer Festigkeitsverringerung verbunden. Das Verschweißen von AlFeMg-E mit Kupfer erfordert die Anwendung spezieller Verfahren, z. B. Kaltpreßschweißen.

3.3. Lötverbindungen

Das Löten von AlFeMg-E ist nur unter dem Gesichtspunkt der Verbindung mit Kupferbauteilen von praktischer Bedeutung. Eine weichlötfähige Oberfläche des Aluminiums ist durch

- Reibverzinnen mit L SnZn37Cd25 oder L SnZn40 unter Flußmittelanwendung
- galvanische Oberflächenbehandlung

erreichbar.

[3]) Drehmoment-Richtwerte für Verschraubungen von Stromschienen aus Al-Werkstoffen verschiedener Festigkeitsklassen sind erstmals in DIN 43673 Bl. 1, Ausg. Juli 1971, erschienen.

3.4. Dehnungsausgleichstellen

Aluminium hat im Vergleich zu Kupfer eine um 40% höhere Wärmedehnung. Eine 5 m lange Al-Schiene verlängert sich beispielsweise bei 50 K Erwärmung um 6 mm. Aus diesem Grunde müssen größere Schienenlängen durch flexible Ausdehnungsstellen (Dehnungsbänder) unterteilt werden. Dehnungsbänder verwendet man aber auch zur mechanischen Schwingungsentlastung von starren Verbindungen, um mechanische Anlagen-Beschädigungen durch Schwingungen bzw. Schaltstöße zu verhindern. In Schaltanlagen mit vielen Abgängen sollte erfahrungsgemäß der Abstand der Dehnungsausgleichstellen auf etwa 10 m begrenzt werden, während man bei Schienen ohne Abzweige und bei freier Verschiebbarkeit in Längsachse größere Längen zulassen kann.

Dehnungsbänder aus Aluminium sind nach TGL 36765/04 [18] im elastischen Bereich aus 0,4 mm dicken Bändern der Werkstoffmarke Al99,5 F7 herzustellen und zu Paketen zu verbinden. Für Sonderzwecke sind unter bestimmten Korrosionsschutzmaßnahmen auch Dehnungsbänder aus Kupfer [19] für AlFeMg-Stromschienen verwendbar.

4. Schlußbetrachtungen

Die Wirtschaftlichkeit von Aluminium-Leiterwerkstoffen im Vergleich zum Kupfer beruht sowohl auf dem für Aluminium günstigeren Verhältnis von Masse/elektrischer Leitfähigkeit (ein leitwertgleicher Al-Leiter hat nur etwa 50% der Masse des Cu-Leiters!) als auch auf der Tatsache des vorteilhafteren Metallpreises einschließlich günstigerer volkswirtschaftlicher Verfügbarkeit.

Aus der neuen höherfesten Leitlegierung AlFeMg-E stellt die DDR-Metallurgie ein ausgewähltes Flachstangensortiment mit verbesserten Gebrauchseigenschaften für den elektrotechnischen Einsatz in Hochstromanlagen — vorzugsweise anwendbar zur Kupfersubstitution oder Gebrauchswerterhöhung — zur Verfügung.

Dieser Beitrag soll durch Erweiterung der Kenntnisse von Konstrukteuren und Montagefachkräften über Eigenschaften, Verarbeitung, Montage und Einsatzmöglichkeiten des Leiterwerkstoffs AlFeMg-E mit zur Verbesserung der Material- und Energieökonomie der Volkswirtschaft beitragen, aber auch Schwachstellen/Störungen durch unrichtigen Werkstoffeinsatz vermeiden helfen.

Literatur

[1] *Beyer, B.;* u.a.: Neue Al-Werkstoffe für elektrische Leiter. Stahlberatung 5 (1978) 3, S. 14–16 und 7 (1980) 4, S. 13–18
[2] *Jacobi, G.; Schneider, H.:* Al-Leitlegierungen – Struktur und Eigenschaften. Neue Hütte 29 (1984) 11, S. 414–420
[3] *Jacobi, G.; Männel, P.:* Al-Leitschienen für die Elektrotechnik. V5-Bericht, FNE-Freiberg, 09/1984
[4] Werkstandard CKBS 814. Halbzeug aus Aluminiumleitlegierungen. Ausg. Dezember 1985
[5] Werkstoff-Kennblatt; Leitschienen aus AlFeMg-E für die Elektrotechnik. Forschungsinstitut für NE-Metalle Freiberg, Juni 1984
[6] *Schneider, H.;* u.a.: Stromschienen aus AlFeMg-Leitlegierung. ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 2, S. 53–55
[7] TGL 30235/01 Gewinnung und Verarbeitung von NE-Metallen; Aluminiumpulver. Ausg. Mai 1982
[8] TGL 4196/02 Rechteckstangen aus Aluminium mit gerundeten Kanten; gezogen. Ausg. November 1985
[9] TGL 200-0738 Schaltanlagen; Stromschienen-Montage; Flachprofil. Ausg. September 1966
[10] *Löbl, H.; Böhme, H.:* Zum Langzeitverhalten von Aluminium-Schraubverbindungen. Wiss. Z. TH Ilmenau 32 (1986) 6, S. 91–99; ELEKTRIE, Berlin 41 (1987) 5, S. 179–183
[11] *Knauschner, A.:* Oberflächenveredlung und Plattieren von Metallen. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1983
[12] Aluminium-Taschenbuch. Düsseldorf: Aluminium-Verlag 1984
[13] TGL 200-0746 Schaltanlagen; Stromschienenlochungen und -verschraubungen für Flachschienen. Ausg. April 1965
[14] TGL 36765/06 Elektrotechnische Anlagen; Stromschienen und -verbindungen; Lösbare Stromschienenverbindungen. Ausg. in Vorbereitung. TGL 36765/07 –; –; Nichtlösbare Stromschienenverbindungen. Ausg. November 1983
[15] *Küster, W.; Jaron, H.:* Kriechverhalten und elektrischer Übergangswiderstand bei Aluminium-Schraubverbindungen. Aluminium 48 (1972) 7, S. 496–500
[16] *Witzig, H.:* Aluminium-Stromschienen – Anwendung und spezielle Probleme. Aluminium 45 (1969) 2, S. 95–100
[17] TGL 14908/07 Schweißzusatzwerkstoffe auf Aluminiumbasis. Ausg. April 1978
[18] TGL 36765/04 Dehnungsbänder aus Aluminium. Ausg. Februar 1981
[19] TGL 36765/05 Dehnungsbänder aus Kupfer. Ausg. Februar 1981

EA 5949

Digitales Schlupfmeßgerät für die Antriebstechnik

U. Beckert; W. Neuber, Freiberg

Mitteilung aus der Bergakademie Freiberg, Wissenschaftsbereich Elektrotechnik

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. *Wolfgang Stock* zum 60. Geburtstag gewidmet

Als Schlupf wird gemäß Definition

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} \tag{1}$$

die auf die Bezugsdrehzahl n_0 bezogene Abweichung der Istdrehzahl n von der Bezugsdrehzahl bezeichnet.

Die Kenntnis des Schlupfes ist auf mehreren Gebieten der Antriebstechnik notwendig. Zum Beispiel wird der stationäre Betriebszustand eines Asynchronmotors eindeutig durch den Schlupf charakterisiert. Als Bezugsdrehzahl n_0 wird dabei die durch die Netzfrequenz f_N und durch die Polpaarzahl p bestimmte synchrone Drehzahl

$$n_s = \frac{f_N}{p} \tag{2}$$

verwendet. Da der Nennschlupf s_n mit wachsender Motorleistung sinkt, besteht für die genaue Messung kleiner Schlupfwerte ein besonderes Interesse. Schlupfmeßprobleme liegen auch bei Bandantrieben und Walzwerkantrieben vor.

Aus der Literatur sind mehrere Schlupfmeßverfahren und -meßeinrichtungen bekannt. Eine Schlupfmeßeinrichtung mit durchgehend frequenzanaloger Informationsverarbeitung wird erstmals in [1] angegeben. Kernstück dieser Schlupfmeßeinrichtung ist eine aus zwei D-Flipflops und einem Antivalenzgatter bestehende digitale Schaltung, mit der aus den bezugs- und drehfrequenten Eingangsimpulsfolgen P_0 und P_i eine differenzfrequente Impulsfolge P_a gebildet wird, deren Impulsbreite genau der Bezugsperiodendauer $T_0 = 1/n_0$ entspricht und deren zeitlicher Mittelwert somit exakt dem Schlupf proportional ist. Um auch bei kleinen Schlupfwerten kurze Meßzeiten zu erreichen, werden die der Bezugsdrehzahl n_0 und der Istdrehzahl n entsprechenden Frequenzen f_0 und f_i vervielfacht. Die Vervielfachung der Bezugsfrequenz f_0 erfolgt mit einem Phasenregelkreis, die der Drehfrequenz f_i mit einem inkrementalen rotatorischen Geber entsprechend hoher Inkrementezahl. Die Notwendigkeit, einen solchen Drehzahlgeber verwenden zu müssen, ist vor allem bei betrieblichen Messungen ein Nachteil dieses Verfahrens. In [2] wird eine Schlupfeinrichtung ebenfalls mit durchgehend frequenzanaloger Informationsverarbeitung angegeben, die diesen Nachteil vermeidet. Diese Schlupfmeßeinrichtung enthält im wesentlichen einen die Bezugsfrequenz vervielfachenden Phasenregelkreis und eine aus einem Tor, einem Frequenzteiler und einem RS-Flipflop bestehende digitale Schaltung. Mit dem Phasenregelkreis und dieser digitalen Schaltung wird aus den bezugsfrequenten und drehfrequenten Eingangssignalen eine drehfrequente Impulsfolge P_a gebildet, deren Impulsbreite der Differenz der Impulsperioden der Eingangssignale entspricht und deren zeitlicher Mittelwert somit exakt dem Schlupf proportional ist. Bei beiden Schlupfmeßeinrichtungen wird der dem Schlupf entsprechende zeitliche Mittelwert der Ausgangsimpulsfolgen P_a mit einem Drehspulinstrument gebildet und angezeigt.

Beide Schlupfmeßeinrichtungen haben den Vorteil, daß durch ihre frequenzanaloge Informationsverarbeitung der Schlupf mit hoher Genauigkeit in ein Tastverhältnis umgesetzt wird. Mit ihrer analogen Anzeige haben sie jedoch den Nachteil der niedrigen Ablesegenauigkeit.

Am Beispiel der Messung des Schlupfes eines Asynchronmotors wird im folgenden ein neues digitales Schlupfmeßgerät vorgestellt.

Dr.-Ing. *Ulrich Beckert* und Dr.-Ing. *Wolfram Neuber* sind wissenschaftliche Mitarbeiter an der Bergakademie Freiberg, Wissenschaftsbereich Elektrotechnik.

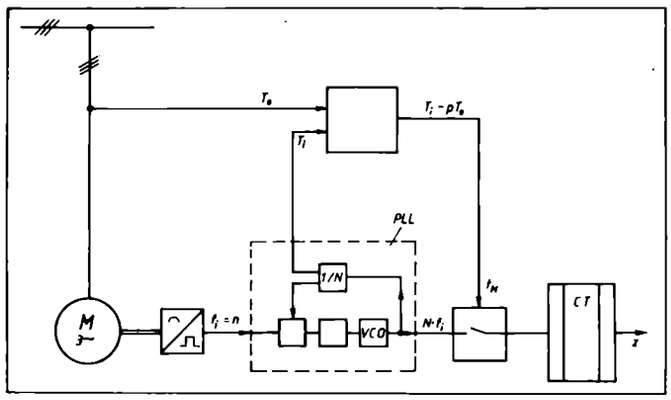


Bild 1. Grundprinzip des digitalen Schlupfmeßverfahrens
1, 2 Impulsgeber; 3 Phasenregelkreis; 4 Tor; 5 Zähler

1. Grundgedanke des Meßverfahrens

Es wird vorausgesetzt, daß die Bezugsdrehzahl n_0 durch die Frequenz f_0 einer ersten Impulsfolge P_0 und die schlupfbehaftete Istdrehzahl n_i durch die Frequenz f_i einer zweiten Impulsfolge P_i gegeben sind:

$$f_0 = f_N = p\, n_0. \tag{3}$$

$$f_i = n,$$

f_N Netzfrequenz,
p Polpaarzahl des Asynchronmotors.

Grundgedanke des entwickelten Schlupfmeßverfahrens (Bild 1):

1. Mit einem Phasenregelkreis (PLL) wird die der schlupfbehafteten Drehzahl n entsprechende Frequenz f_i um einen konstanten Faktor N vervielfacht. Die am Ausgang des Phasenregelkreises abgegebene Impulsfolge P_i' hat die Frequenz

$$f_i' = N f_i = N n. \tag{4}$$

2. Während einer der Differenz von Drehperiode

$$T_i = \frac{1}{n} \tag{5}$$

und Bezugsperiode

$$T_0' = p\, T_0 = p/f_0 = 1/n_0 \tag{6}$$

entsprechenden Meßzeit

$$t_M = T_i - T_0',$$

$$t_M = \frac{1}{n} - \frac{1}{n_0}, \tag{7}$$

wird die am Ausgang des Phasenregelkreises abgegebene Impulsmenge

$$z = t_M f_i' = \left[\frac{1}{n} - \frac{1}{n_0}\right] N n,$$

$$z = N \frac{n_0 - n}{n_0} = N s, \tag{8}$$

in einen Zähler eingezählt. Das Zählergebnis wird in seinen Speicher übernommen und angezeigt. Bei geeigneter Wahl von N, z. B. bei $N = 10000$, entspricht z direkt dem Schlupf in Zehntelpromille.

2. Technische Realisierung

Bild 2 zeigt das Blockschaltbild einer digitalen Schlupfmeßeinrichtung, die das beschriebene Verfahren verwirklicht.

Diese Schlupfmeßeinrichtung besteht im wesentlichen aus

- einem die Istfrequenz f_i vervielfachenden Phasenregelkreis (1)
- einem ersten Zähler mit Speicher und mit digitalem Komparator (2) (U 125), wobei der Zähler im Phasenregelkreis liegt
- einer aus drei D-Flipflops bestehenden digitalen Schaltung zur Torsteuerung (6)
- einem Tor (7)
- einem zweiten Zähler mit Speicher (8) (U 125)
- einer digitalen Anzeigeeinheit (9).

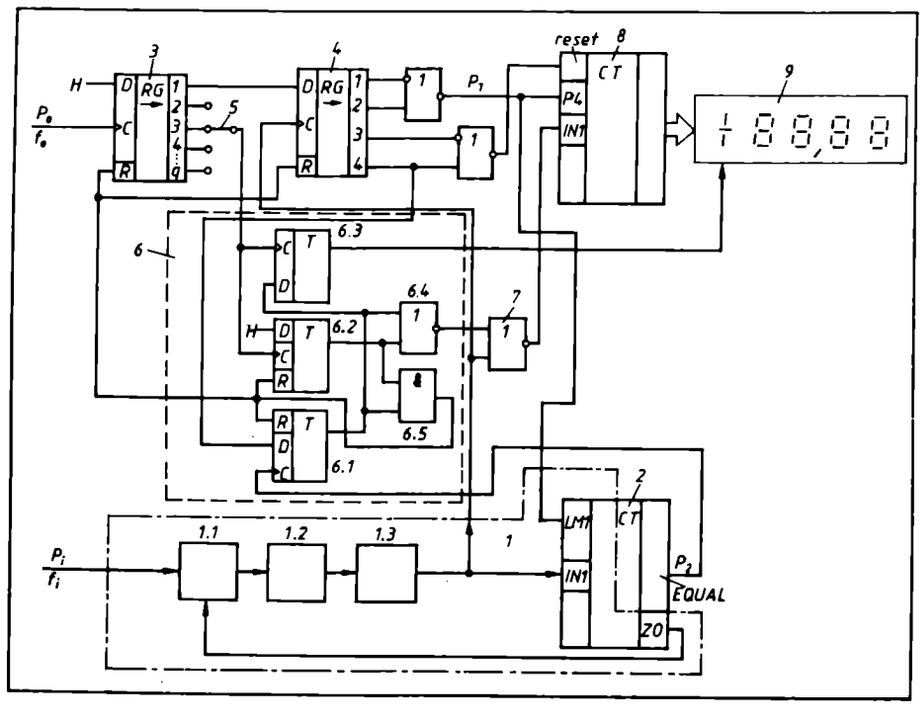


Bild 2. Blockschaltbild der digitalen Schlupfmeßeinrichtung
1 Phasenregelkreis; 2 Zähler mit Speicher und digitalem Komparator; 3, 4 Schieberegister; 5 Schalter für Polpaarzahl; 6 Toransteuerung; 7 Tor; 8 Zähler mit Speicher; 9 digitale Anzeigeeinheit

Mit einem ersten Impulsgeber wird aus der Netzwechselspannung die Impulsfolge P_0 mit der Frequenz $f_0 = p\,n_0$ abgeleitet, mit einem zweiten von der rotierenden Welle des Asynchronmotors die Impulsfolge P_i mit der Frequenz $f_i = n$. Die drehfrequente Impulsfolge P_i liegt am Eingang des Phasenregelkreises (1), mit dem die schlupfbehaftete Drehfrequenz f_i um einen konstanten Faktor N vervielfacht wird. Im ausgeführten Meßgerät wurde $N = 10000$ gewählt.

Die Wirkungsweise der digitalen Schlupfmeßeinrichtung wird zweckmäßig an Hand ihres im Bild 3 dargestellten Impulsdiagramms für positiven Schlupf beschrieben:

— Impulse der am Ausgang des spannungsgesteuerten Oszillators (1.3). abgegebenen Impulsfolge mit der vervielfachten Drehfrequenz $f_i' = N\,n$ werden ununterbrochen in den ersten Zähler (2) eingezählt.

— Mit der Vorderflanke des k-ten Impulses der Rechteckimpulsfolge P_0 zum Zeitpunkt t_k wird der momentane Zählerstand $z_1\,(t_k)$ in seinen Speicher übernommen. Zu diesem Zeitpunkt wird außerdem der zweite Zähler (8) zurückgesetzt.

— Mit der Vorderflanke des $(k + p)$-ten Impulses der Rechteckimpulsfolge P_0 zum Zeitpunkt

$$t_k' = t_k + p\,T_0 \tag{9}$$

wird das Tor (7) geöffnet und es beginnt das Einzählen von Impulsen mit der vervielfachten Drehfrequenz f_i' in den zweiten Zähler (8).

— Mit dem digitalen Komparator des ersten Zählers (2) wird laufend der momentane Zählerstand des ersten Zählers $z_1\,(t)$ mit dem gespeicherten Zählerstand $z_1\,(t_k)$ verglichen.

— Bei Gleichheit des momentanen und des gespeicherten Zählerstandes zum Zeitpunkt

$$t_k'' = t_k + T_i \tag{10}$$

werden durch den am EQUAL-Ausgang des digitalen Komparators abgegebenen Impuls (Impulsfolge P_2) das Tor (7) geschlossen, damit das Einzählen von Impulsen mit der vervielfachten Drehfrequenz in den zweiten Zähler beendet und das Zählergebnis $z_2\,(t_k'')$ in seinen Speicher übernommen und angezeigt.

Bei negativem Schlupf liegt der EQUAL-Impuls vor der Vorderflanke des $(k + p)$-ten Impulses der Rechteckimpulsfolge P_0 (Bild 4). In diesem Fall wird das Tor (7) vom EQUAL-Impuls geöffnet und von der Vorderflanke des $(k + p)$-ten Impulses der Impulsfolge P_0 geschlossen.

Gesteuert wird das Tor (7) von der aus den beiden D-Flipflops (6.1, 6.2) und dem AND-Gatter (6.5) bestehenden digitalen Phasenvergleichsschaltung (6). Die von ihr verwirklichte Meßzeit entspricht dem Betrag der Differenz von Drehperiode und Bezugsperiode:

$$t_M = t_k'' - t_k', \qquad t_M = |T_i - p\,T_0|. \tag{11}$$

Damit entspricht das Zählergebnis $z_2\,(t_k'')$ dem Betrag des Schlupfes. Das Vorzeichen des Schlupfes wird mit dem D-Flipflop (6.3) gewonnen, das feststellt, welches der beiden Signale zuerst an den Eingängen der Phasenvergleichsschaltung auftritt.

Die Polpaarzahl der Asynchronmaschine wird mit dem von der Netzfrequenz getakteten Schieberegister (3) und dem Schalter (5) eingestellt. Die Wiederholfrequenz der Messung ist durch $f_M \approx f_0/(p + 1)$ gegeben, d. h., bei einem vierpoligen Asynchronmotor wird das Meßergebnis mit etwa 16 2/3 Hz neu bereitgestellt.

Literatur

[1] *Beckert, U.; Neuber, W.:* Neues Schlupfmeßverfahren für die Antriebstechnik, messen steuern regeln, Berlin 35 (1981) 2, S. 98–102, 107

[2] *Beckert, U.; Neuber, W.:* Ein neues Meßverfahren für den Schlupf von Asynchronmotoren. ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) (in Vorbereitung)

EA 5970

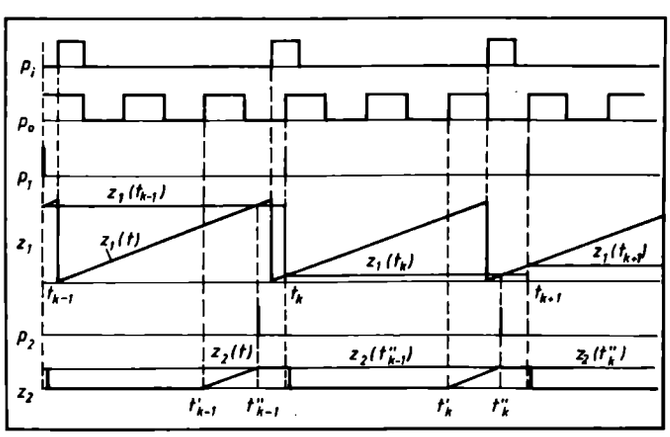


Bild 3. Impulsdiagramm der Schlupfmeßeinrichtung bei positivem Schlupf (Polpaarzahl $p = 2$)

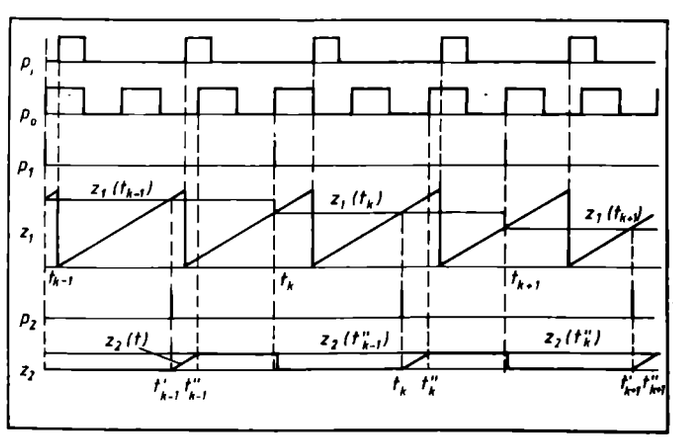


Bild 4. Impulsdiagramm der Schlupfmeßeinrichtung bei negativem Schlupf (Polpaarzahl $p = 2$)

Leipziger Frühjahrsmesse 1989

Erzeugnisse der Elektroindustrie der DDR

VEB Kombinat Elektromaschinenbau

Elektrische Maschinen für Automatisierung von Produktionsprozessen unentbehrlich

Dem elektrischen Motor, und damit dem Elektromaschinenbau, kommt im Prozeß der fortschreitenden Automatisierung eine wesentliche Rolle zu. Dabei geht es nicht einfach nur um die Bereitstellung wachsender Stückzahlen, sondern auch und vor allem um die Realisierung der optimalen Antriebslösung für das konkrete Antriebsproblem, wie übereinstimmend auf der internationalen wissenschaftlichen Tagung festgestellt wurde, zu der sich aus Anlaß der Würdigung einer hundertjährigen Tradition des industriellen Elektromaschinenbaus ein international außerordentlich repräsentatives Gremium von Elektromaschinenbauern, Wissenschaftlern, Ökonomen, Konstrukteuren, Technologen und nicht zuletzt Vertretern der Anwenderbereiche im Juni 1988 in Dresden zusammengefunden hatte. Bei gleichbleibendem physikalischem Grundprinzip der Energiewandlung sind Wege dazu u.a. die kontinuierliche Nutzung der sich anbietenden Werkstoffortschritte, z.B. bei Dynamobändern, Isolier- und hartmagnetischen Stoffen, und die permanente Optimierung der Auslegung elektrischer Maschinen im Sinne der Anpassung an die sich entwickelnden Anwenderbedürfnisse einerseits, andererseits Fortschritte in der Technologie des Elektromaschinenbaues selbst, insbesondere die Erhöhung des Automatisierungs- und Verkettungsgrades sowie der Flexibilität zur Befriedigung der zunehmenden Modifikationswünsche.
Schließlich sind steigende Ansprüche an die Qualität der Projektierung elektrischer Antriebe nicht zu übersehen.

Standardisiertes VEM-Erzeugnisprogramm für multivalenten Einsatz

Das Messeangebot des Kombinates Elektromaschinenbau zeigt, daß sein Erzeugnisprogramm auf diese Trends ausgerichtet ist und ein hohes Leistungsvermögen repräsentiert wird.
In den 13 Kombinatsbetrieben werden täglich 40000 Elektromotoren, Generatoren, Elektroaggregate und elektrohydraulische Betätigungsgeräte produziert. Kernstück des Sortiments sind die in den letzten Jahren entwickelten Grundreihen elektrischer Maschinen im Drehstrom-, Synchron- und Gleichstromprinzip bis 10000 kW mit exakt standardisierter Leistung, Drehzahl und Bauform mit einem hohen Grad der Modifizierbarkeit und den Voraussetzungen für eine hochproduktive Fertigung. Sie verkörpern einen international anerkannten hohen Leistungsstand und verfügen über ausgezeichnete Parameter hinsichtlich des Masse-Leistungs-Verhältnisses, des Wirkungsgrades und der Materialökonomie.

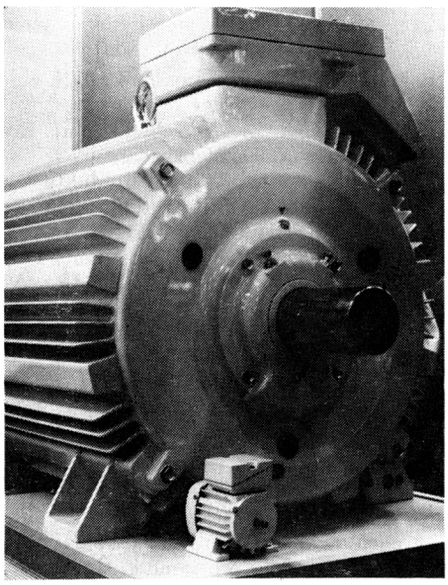


Bild 1. Größter und kleinster Typenvertreter der VEM-Drehstrom-Standardmotoren

Zur Frühjahrsmesse 1989 werden beispielsweise Typenvertreter der VEM-Drehstrom-Niederspannungs-Asynchronmotoren, Stirnrad-Getriebemotoren, Einphasen-Standardmotoren sowie Außenläufermotoren ausgestellt.
Dem Trend des Einsatzes geregelter Antriebe auf der Basis von Drehstrommotoren und einer modernen Leistungs- und Informationselektronik folgend, werden dazu drehzahlstellbare Antriebe mit VEM-Transistor-Frequenzumrichter 3 kVA und 10 kVA vorgestellt. In der DDR werden diese Antriebe gegenwärtig vor allem im Textil- und Druckmaschinenbau sowie im Werkzeugmaschinenbau eingesetzt. Der Bedarf auch anderer Zweige nimmt rasch zu.
Des weiteren werden VEM-Elektromaschinen für die Elektroenergieerzeugung gezeigt, Kleinmotoren für den elektronischen Gerätebau sowie Spezialantriebe und Geräte.

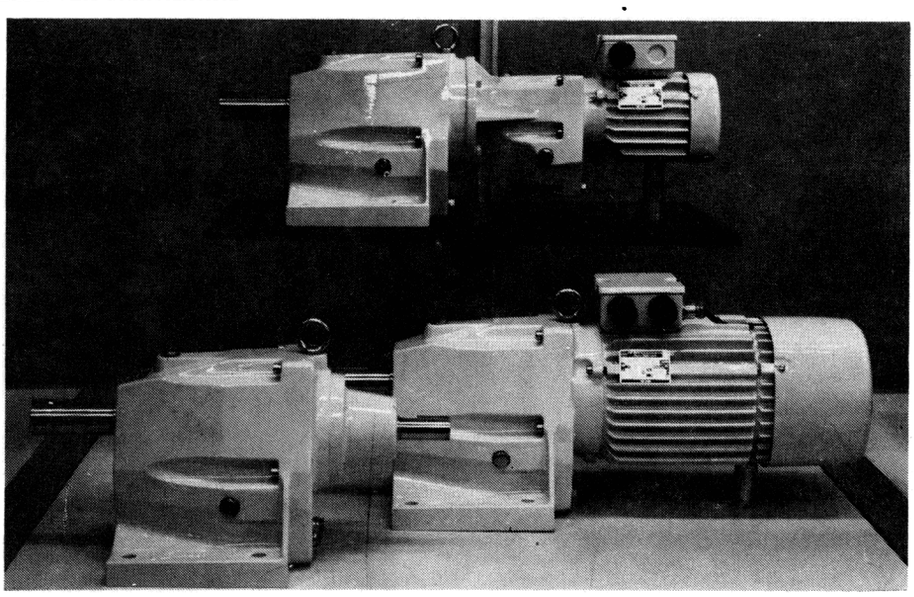
Drehstrom-Niederspannungs-Asynchronmotoren Reihe KMER/KPER 63 ... 400

Den Standardmotoren ist im DDR-Elektromaschinenbau seit jeher eine besondere Aufmerksamkeit gewidmet worden. Trotz ihrer ausgereiften Konstruktion und Ausführung sind in den letzten Jahren eine Vielzahl von Verbesserungen wirksam geworden, darunter auf dem Gebiet der Lärmminderung und der Energieeinsparung.
Die in Leipzig gezeigten Vertreter der einheitlichen Baureihe aus den Elektromotorenwerken in Thurm, Wernigerode und Dessau mit Schutzgrad IP 54 sind in Wärmebeständigkeitsklasse F ausgeführt und zeichnen sich demzufolge durch gesteigerte thermische Überlastbarkeit und verlängerte Lebensdauer aus.
Sie sind außerdem durch

— gute energetische Kennziffern und dadurch günstiges Masse-Leistungs-Verhältnis und kleine Abmessungen
— Projektierungs- und Leistungsreserven
— stabile Graugußkonstruktion

gekennzeichnet.
Neue Vorteile für den Anwender sind die optimierte Lagerung mit praxisbezogener Anpassung an die auftretenden Radial- und Axialkräfte bei einem schwingungs- und geräuscharmen Laufverhalten der Motoren,

Bild 2. VEM-Getriebemotoren



der Einsatz sorgfältig ausgewählter hochwertiger Schmierstoffe mit einer Erhöhung der Schmierwirkungsdauer bis auf 20000 h, die Erweiterung der allgemeinen Einsatzbedingungen durch nachgewiesene Restspannungsfestigkeit bis zu 100% und die Eignung für Umgebungstemperaturen bis zu — 60 °C sowie die Kopplung dieser Motoren mit Frequenzumrichtern ohne Sondermaßnahmen.

Die Grundreihen ermöglichen durch das konsequent durchgesetzte Baukastenprinzip die Ableitung einer Vielzahl von elektrischen und baulichen Varianten für die jeweiligen Kundenwünsche. Unkompliziert lassen sie sich mit VEM-Anbaubremsen auch zu Bremsmotoren ausrüsten oder — für den Einsatz in Bereichen, in denen Drehzahlen und Drehmomente gefordert werden, die mit Standardmotoren ökonomisch nicht zu realisieren sind — zu VEM-Getriebemotoren komplettieren.

Die Baureihen der VEM-Getriebemotoren sind ebenfalls vielfältig modifizierbar.

Drehzahlstellbare VEM-Drehstromantriebe

Die Vorteile der Asynchronmaschinen haben zu ihrem überwiegenden Einsatz geführt. Etwa 90% aller Antriebe in der Wirtschaft sind mit ihnen ausgerüstet. Da es sich zumeist um drehzahlstarre Antriebe handelt, erfolgen Veränderungen der Stoff- und Volumenströme sowie technologisch bedingte Anpassungen von Arbeitsgeschwindigkeiten durch aufwendige, vielfach materialintensive und schnellverschleißende mechanische Stellglieder.

Auf der anderen Seite sind die erreichten energetischen Werte Ursache dafür, daß die Erhöhung des Wirkungsgrades im wesentlichen nur noch durch mehr Materialeinsatz zu realisieren ist. Für die Asynchronmaschinen bedeutet das, daß ein Punkt Erhöhung des Wirkungsgrades im Mittel einen Mehreinsatz an Material von etwa 7% erfordert.

Erst die stürmische Entwicklung der Mikro- und Leistungselektronik hat mit dem Frequenzumrichter die Voraussetzung für eine grundlegende Wandlung geschaffen. Die VEM-Transistor-Frequenzumrichter 3 kVA (EDU 210/7) und 10 kVA (DDU 370/1,65), die in Leipzig in Funktion gezeigt werden, sichern eine Vielzahl von Vorteilen, so z. B. für die Energieökonomie:

— Energieeinsparung bei Pumpen- und Lüfterantrieben
— Energieeinsparung durch Wegfall verlustintensiver mechanischer Stellglieder
— Sekundärenergieeinsparung in Heizungs- und Belüftungsanlagen.

Ebenso bedeutsam sind eine Reihe anderer volkswirtschaftlicher Vorteile wie:

— Materialeinsparung durch Wegfall mechanischer Stellglieder
— Vermeidung von Verschleiß und Erhöhung der Anlagenlebensdauer
— Erhöhung der Qualität der Produkte
— Steigerung der Arbeitsproduktivität
— Automatisierbarkeit von Prozessen
— Nutzung neuer technologischer Prozesse
— Schaffung einer arbeitsfreundlichen Umwelt z. B. durch Senkung des Geräuschpegels.

Kontinuierliche Prozeßführung, stufenlose Dosierung im weiten Bereich, höhere Verarbeitungsgeschwindigkeiten, ruckfreier Betrieb, schnelle Änderungsfähigkeit, durchgängige Automatisierbarkeit und digitale Prozeßregelung garantiert der Einsatz dieser nach dem verlustfreien Verfahren der Frequenzsteuerung arbeitenden Umrichter.

Ein Vorzug der Umrichterkonzeption des VEB Kombinat Elektromaschinenbau ist die anschlußfertige, sofort betriebsbereite Baueinheit, die dem Anwender Antriebslösungen mit vorteilhaften Kosten ermöglicht und durch folgende Eigenschaften charakterisiert wird:

— direkter Anschluß an das Drehstromnetz
— unmittelbarer Anschluß des Drehstrom-Asynchronmotors
— integrierte Funkentstörung
— integrierter Überspannungsschutz
— integrierte Gerätesicherung für Leistungs- und Informationskreis
— integriertes Netzschütz als Leistungshalter zur Spannungsfreischaltung wesentlicher Baugruppen des Umrichters und der Ausgangsklemmen zum Motor
— integrierter Bremsschopper mit Bremswiderstand
— eine Vielzahl von Schutzeinrichtungen (gegen Unterspannung, Überspannung, Kurzschluß, Erdschluß, Temperaturüberschreitung an den Transistorleistungsschaltern), die auf den Netzschütz wirken.

Antriebsprojektierung — treffsicher, schnell, effektiv

Seit im Jahr 1986 erstmals Software zur antriebsgerechten Computer-Auswahl von VEM-Drehstrom-Standardmotoren angeboten wurde, konnten zahlreiche Lizenzverträge zur Nutzung dieser Projektierungshilfe abgeschlossen werden. Inzwischen wurde das Anwendungsgebiet wesentlich erweitert. So können heute schnell und unkompliziert nach den unterschiedlichsten Nutzerinteressen und unter Berücksichtigung des aktuellen Entwicklungsstandes sowohl Drehstromnormmotoren und Stirnradgetriebemotoren sachkundig und materialökonomisch ausgewählt als auch die Arbeitsmaschine und die Koppelelemente bedingten Belastungen auf ihre Zulässigkeit überprüft werden. Wochenlange Arbeit von Projektierungsingenieuren wird auf diese Weise zur Angelegenheit von Sekunden am Computer.

Folgende Software-Elemente stehen zur Verfügung:

VEM-Prodrive A
Antriebsgerechte Auswahl von Niederspannungs-Asynchronmotoren der Reihen KMR, KPR, KMER, KPER

VEM-Prodrive M
Antriebsgerechte Überprüfung der Wellen- und Lagerbelastung von Niederspannungs-Asynchronmotoren der gleichen Reihen

VEM-Prodrive G
Antriebsgerechte Auswahl von VEM-Standard-Getriebemotoren der Reihe ZG

VEM-Prodrive U
Projektierung von Drehstromantrieben, bestehend aus Standardmotoren und Transistorfrequenzumrichtern.

Die Arbeit am Computer erfolgt im Dialogbetrieb, der so organisiert ist, daß auch ein Anwender ohne spezielle Projektierungskenntnisse die Auswahl vornehmen kann. Damit steht ihm ein einfach handhabbares Verfahren zur Verfügung, das folgende weitere Vorteile bietet:

— Auswahl des optimal angepaßten Motors
— Nutzung der vorhandenen thermischen Reserven des Motors
— Einsatz des kleinstmöglichen Motors
— Abbau von Projektierungsreserven

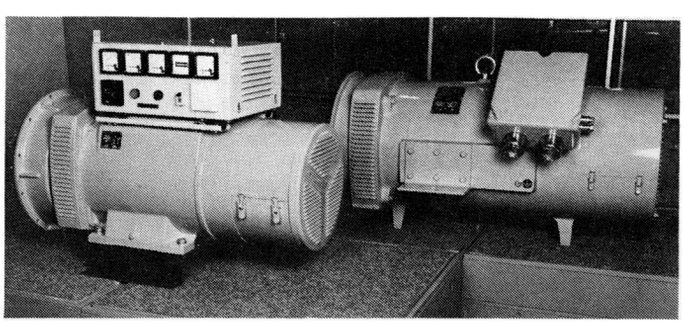


Bild 3
VEM-Drehstrom-Synchrongeneratoren der Baureihe „S"

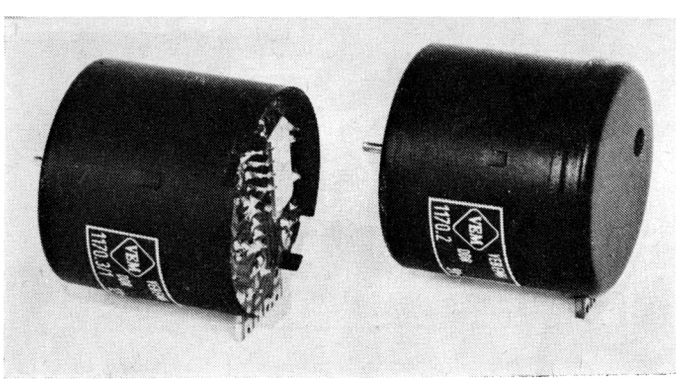


Bild 4
Elektronisch kommutierte Gleichstrommotoren für Kassettenantriebe

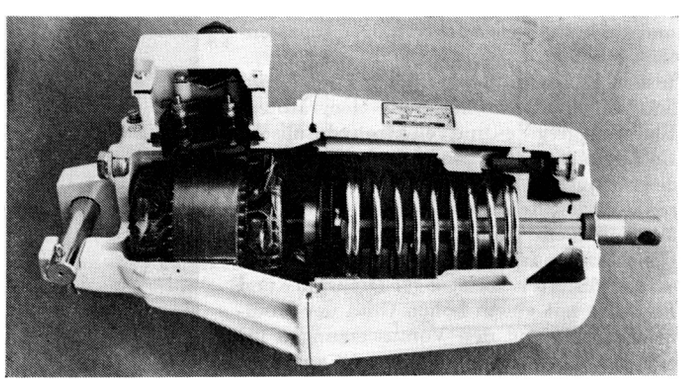


Bild 5
VEM-Elektrohydraulischer Linearantrieb (Schnittmodell)

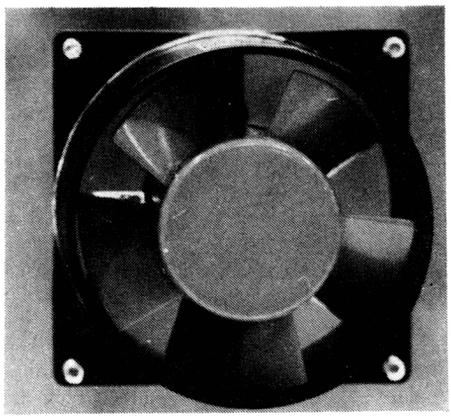


Bild 6
VEM-Lüfterbaustein

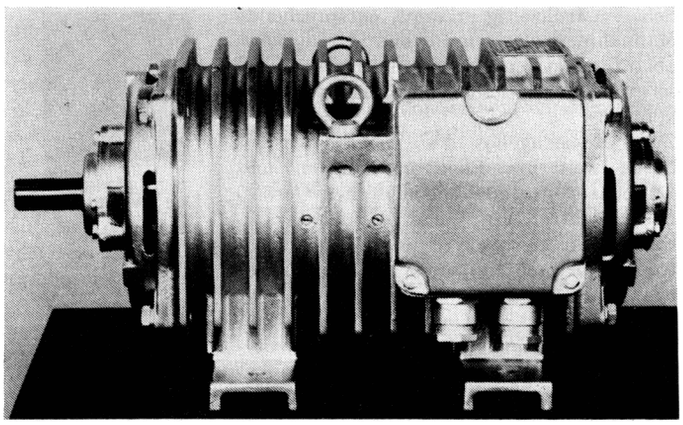


Bild 8
VEM-Rollgangmotor

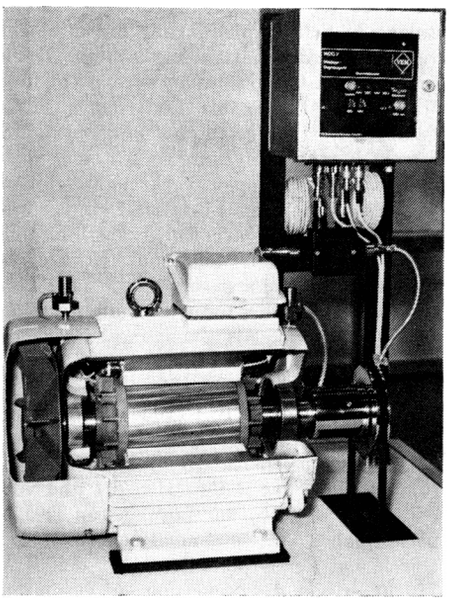


Bild 7. VEM-Drehstrom-Standardmotor (Schnittmodell) mit Wälzlagerdiagnosegerät

— maximale energetische Kennwerte durch optimale Motorenauswahl
— erhöhte Zuverlässigkeit, da auftretende Überbeanspruchungen in der Motorenauswahl berücksichtigt werden
— Effektivitätserhöhung bei der Antriebsprojektierung.

Der erarbeitete Auswahlalgorithmus für frequenzgestellte Asynchronmotoren bietet dem Anwender die Möglichkeit, die Effekte der Drehzahlanpassung an den optimalen Prozeßablauf voll und ohne Risiko einer unzulässigen Motorbelastung in Anspruch zu nehmen.

Die praktische Nutzung der VEM-Software im In- und Ausland bestätigt ihre Vorzüge. Durch die ständige Vervollkommnung kann der Käufer von VEM-Antriebstechnik auch in Zukunft und für eine zunehmende Anzahl von Erzeugnissortimenten gewiß sein, daß seine Wahl optimal erfolgt, d.h. kostenminimal hinsichtlich Kaufpreis und Betrieb und zudem die Zuverlässigkeitskennwerte und Lebenserwartungen voll erfüllt werden.

VEM-Gleichstrommaschinen der D-Reihe

Trotz des Vordringens des frequenzgeregelten Asynchronmotors bleiben Gleichstromantriebe mit ihren großen Drehzahlbereichen und ihrer hohen Regelgenauigkeit für spezielle Antriebsforderungen insbesondere im Maschinenbau, in der Papier- und Zellstoffproduktion sowie in der chemischen und polygrafischen Industrie unentbehrlich, da sie in Verbindung mit elektronischen Stellgleichrichtern nach wie vor eine sehr ökonomische Variante sind.

Die gezeigten Typenvertreter der D-Reihe (Baugrößen D 132 — D 200) der 4. Generation im DDR-Elektromaschinenbau hergestellter Gleichstrommaschinen sind speziell als Hauptantriebe für den Werkzeugmaschinenbau konzipiert.

Die vollgeblechte Ausführung dieser Maschinen unter Einsatz hochwertiger Bleche und die Anwendung moderner Folgeschneidverfahren, die Realisierung verschiedener Ankerkreisvarianten für jede Achshöhe, hohe Drehzahl, Schrägung der Nuten und entsprechend große Anzahl der Kommutatorlamellen sowie die sorgfältige Auslegung des magnetischen Kreises garantieren Stromrichterfestigkeit, hohe Dynamik, gute Rundlaufeigenschaften und optimale Leistungsanpassung.

Ebensolchen Anteil an den erreichten Spitzenparametern haben die hochwertigen Isolierstoffe der Wärmebeständigkeitsklasse F, der optimale Fremdbelüftungsbaukasten der Grundvariante und die gedrungene, eckige Bauweise. Hohe Leistungsdichte und damit geringe Einbauabmessungen sind weitere Kennzeichen der neuen Baureihe.

Die gewählte konstruktive Ausführung und die präzise Fertigung gewährleisten einen schwingungs- und geräuscharmen Lauf des Antriebes, sichern einen geringen Wartungsaufwand und eine lange Lebensdauer.

Elektroenergieerzeugung mit VEM-Elektromaschinen

Seit langem haben sich Generatoren aus dem Produktionsprogramm des VEB Kombinat Elektromaschinenbau für die zuverlässige Energieerzeugung in transportablen und stationären Landanlagen sowie für die Stromversorgung von Schiffen und Schienenfahrzeugen bewährt.

Die Synchrongeneratoren der Baureihe „S" bieten den Anwendern eine Reihe neuer Vorteile. Die bürstenlose Ausführung garantiert einen völlig wartungs- und verschleißfreien Betrieb der Erregungseinrichtung. Die mikroelektronische Spannungsregelung sorgt für hohe Spannungskonstanz und gutes dynamisches Verhalten. Sie ist so konzipiert, daß alle auftretenden Betriebsfälle sicher beherrscht werden. Die Verwendung eines hochwertigen Isolationssystems der Wärmebeständigkeitsklasse F für die Wicklungen gewährleistet Betriebszuverlässigkeit und lange Lebensdauer. Die Zuschaltung relativ großer Asynchron-Käfigläufermotoren ist problemlos möglich. Die Reihe umfaßt den Leistungsbereich von 7,5 bis 1000 kW und von 9,4 bis 1250 kVA.

Eine Neuentwicklung ist der bürstenlose Drehstrom-Dieselgenerator Typ DRADP 5022-6 M für die Dauerstromerzeugung und die Ersatzstromerzeugung in Land- und Bordanlagen aus dem traditionsreichen Dresdener Sachsenwerk.

Durch Integration des bürstenlosen Erregersystems in die Maschinenausführung zeichnet sich dieser für den Einsatz in Diesel-Elektro-Aggregaten entwickelte Generator (1450 kVA, 400 V, 1000 U/min, 50 Hz) durch

— wartungs- und verschleißfreien Betrieb
— kurzfristige Verfügbarkeit
— günstiges Masse-Leistungsverhältnis und
— Servicefreundlichkeit

aus.

Die im Ständer des Hauptgenerators untergebrachte Hilfswicklung versorgt über den Spannungsregler leistungsmäßig die Erregerwicklung der Erregermaschine. Die von der Rotorwicklung der Erregermaschine erzeugte Spannung wird über rotierende Gleichrichter der Erregerwicklung des Hauptgenerators zugeführt.

Das verwendete Isolierungssystem „Monolith 2" garantiert eine hohe Lebensdauer sowie erhöhte elektrische und mechanische Beanspruchbarkeit der Isolierung.

Monolith 2 ist ein Isolierungssystem mit bindemittelarmen Glimmer-Glasgewebe-Bändern, die im Vakuum-Druck-Prozeß imprägniert werden. Für die Imprägnierung der Isolierbänder, Glimmerschutzbänder und Glasfaserdochte wird ein lösungsmittelfreies Gemisch aus einem mittelmolekularem Epoxidharz mit einem flüssigen Anhydrithärter verwendet.

Spezialantriebe und Geräte

Die Erhöhung des Automatisierungsgrades in der Industrie führt zwangsläufig zu weiter wachsenden Forderungen hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Motoren. Da die Herabsetzung der spezifischen Belastung der Werkstoffe, d.h. der verstärkte Einsatz von Material ausgeschlossen werden muß, kommen neben der Qualitätsverbesserung der Einsatzmaterialien vor allem Möglichkeiten der Zustandsüberwachung in Betracht. Im Kombinat Elektromaschinenbau wurde dafür ein Wälzlagerdiagnosegerät entwickelt, mit dem sich anbahnende

Schäden frühzeitig erkannt, entsprechende Maßnahmen zu einem für den Produktionsablauf günstigen Zeitpunkt ergriffen und so große Folgeschäden abgewendet werden können.

Zum Messeangebot des Kombinates gehören weiterhin Elektronikmotoren und Lüfterbausteine für den modernen Gerätebau, elektrohydraulische Betätigungsgeräte, Rollgangmotoren und Transformatoren-Überwachungsgeräte (Buchholz-Relais).

Neu vorgestellt wird auch ein Schubtriebanlasser 13 kW/24 V mit Anlaß-, Wiederhol- und Sperrgerät zum elektronischen Anlassen von Verbrennungskraftmaschinen mit einem Hubraum über 20 dm².

VEM-Elektromaschinen — weltweit bekannt und anerkannt

In mehr als 45 Ländern, darunter alle bedeutenden Industrieländer Westeuropas, werden heute VEM-Elektromaschinen exportiert. Über den Export von Maschinen und Anlagen nicht nur der DDR, sondern auch der Abnehmerländer, gelangen sie praktisch in alle Staaten und bewähren sich unter allen klimatischen Bedingungen. Wie Lizenzabkommen mit Partnern in aller Welt bestätigen, hat der VEB Kombinat Elektromaschinenbau als leistungsfähiger Produzent mit einhundertjähriger Tradition auch ein umfangreiches und interessantes Know how zu bieten.

Das Programm wissenschaftlich-technischer Leistungen erstreckt sich von der Ausarbeitung von Studien im Partner-Auftrag über die Projektierung und Errichtung kompletter Produktionsstätten für die Herstellung elektrischer Maschinen bis hin zur Ausbildung und zum Training von Produktions- und Leitungspersonal.

G. Stötzner, Dresden EA 2953

Kombinat Automatisierungsanlagenbau — KAAB

Der VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau produziert mit mehr als 50000 Werktätigen hochwertige Erzeugnisse des Automatisierungsanlagenbaus. Geräte und Anlagen zur Energieübertragung und -verteilung und der Hochspannungsprüftechnik. Unter Nutzung von Schlüsseltechnologien, insbesondere der modernen Rechentechnik, profilierte sich das Kombinat zu einem bedeutenden Hersteller von Anlagen und Geräten für die Fertigungs- und Prozeßautomatisierung. Das umfangreiche Messeangebot bringt die Leistungsfähigkeit des Kombinates auf dem Gebiet der flexiblen Automatisierung überzeugend zum Ausdruck. Im Mittelpunkt der Erzeugnisposition stehen anwenderbezogene Angebotskomplexe von Geräten und Systemen zur flexiblen Automatisierung von Fertigungsprozessen.

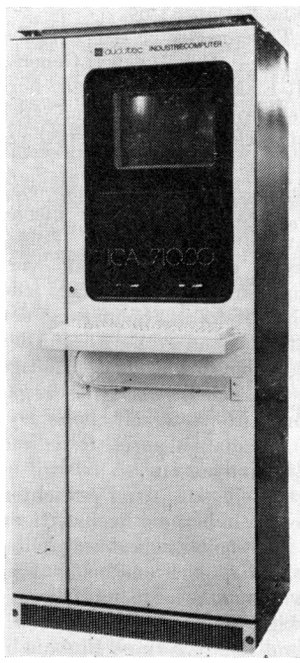
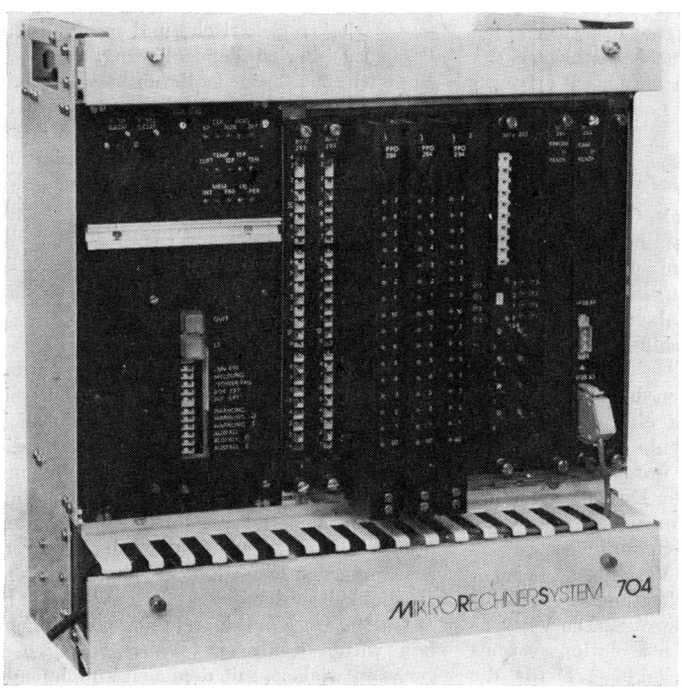


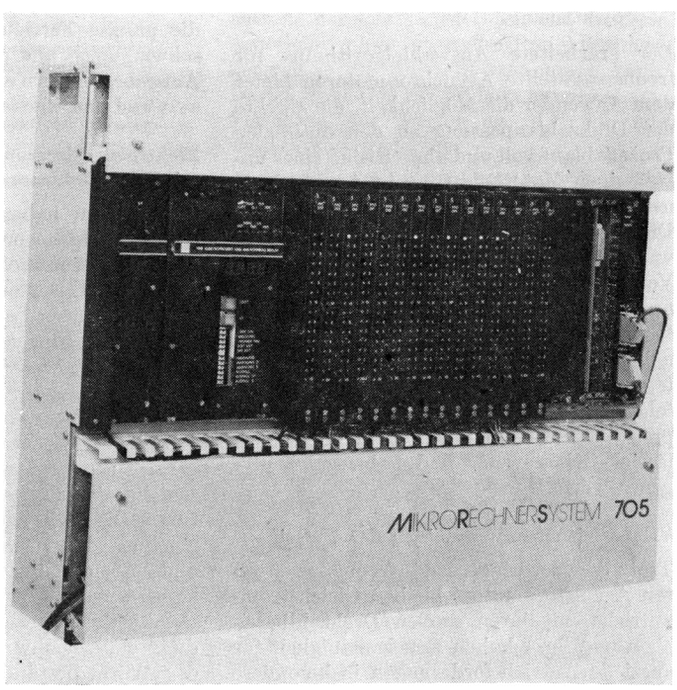
Bild 1 Industrie-Computer ICA 710.20

In Halle 15 werden neuentwickelte Industriecomputer der Gerätefamilie ICA 700 vorgestellt. Moderne Erfordernisse der Fertigungsautomatisierung vereint mit umfangreichen Erfahrungen auf dem Gebiet der Prozeßautomatisierung führten zu der Entwicklung einer idealen Computergerätefamilie für den Industrieeinsatz. Der ICA 700 ist ein geschlossenes, leistungsmäßig gestaffeltes und anwenderbezogenes Gerätesystem. Die Leistungsfähigkeit der ICA-Familie reicht vom industriegerechten PC über die autonome Automatisierungsanlage in Schrankausführung bis zu einem vernetzten Automatisierungssystem. Diese neuen Industriecomputer werden in der Halle 15 erstmalig als Leitrechner eines flexiblen Fertigungssystems eingesetzt. In diesem Fertigungssystem verketteter, vollständig automatisierter Werkzeugmaschinen wird am konkreten Einsatzfall eines computergestützten Bearbeitungszentrums für Dreh- und Gehäuseteile mit Hochregallager und Bestückungsroboter die hohe Leistungsfähigkeit der Industriecomputerreihe ICA 700 gezeigt. Als Fertigungsleitrechner wird die Terminalvariante, der ICA 710.30, eingesetzt. Der Fertigungsleitrechner steuert sowohl unterlagerte ICA 710.20 (Bild 1) — einer Schrankvariante — an als auch weiterentwickelte speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) der Reihe MRS 704 und 705 (Bilder 2a und 2b) zur Lösung von Transportaufgaben an einem Hochregallager. Durch den Fertigungsleitrechner, den ICA 710.30, erfolgt die Steuerung des gesamten Bearbeitungs-, Materialfluß- und Informationssystems sowie über den unterlagerten ICA 710.20 die Führung des Fertigungsdialogs.

Die hohe Leistungsfähigkeit der ICA 700-Industriecomputerfamilie ist durch das neuentwickelte Zweirechnersystemkonzept

Bild 2. Speicherprogrammierbare Steuerung; a) System 704 b) System 705





möglich geworden, das alle Vorteile der üblichen Industriecomputer wie die Programmkompatibilität zum PC, mit den Vorteilen moderner Echtzeitsysteme, wie die schnelle Reaktionsfähigkeit und Konfigurierbarkeit, optimal miteinander verbindet. Bestehend aus Hauptrechner (PC) und Echtzeitcomputersystem ist die Systemstruktur der ICA-700-Familie durch konsequente Anwendung international gültiger und bewährter Standards gekennzeichnet. Daraus ergeben sich für den Anwender unverzichtbare Vorteile, u.a. die Programmkompatibilität zu den Computern der PC-Reihe (XT; AT), die Einsatzmöglichkeit von allen modularen Baugruppen entsprechend IEC 47 B (secretariat) 19 und (secretariat) 21 für die Prozeßankopplung und die Vernetzungsmöglichkeit über lokale Netze.

Diese moderne Systemstruktur und natürlich die Unempfindlichkeit gegenüber Hitze, Kälte sowie Staub und Vibrationen bilden die Grundlagen für die große Anwendungsbreite und Flexibilität und somit für den Einsatz als Leit- oder Fertigungsleitrechner zur computergestützten Steuerung von durchgängig verketteten Systemen, Anlagen und Ausrüstungen zur komplexen Rationalisierung und Automatisierung betrieblicher Prozesse, wie sie das KAAB vorstellt.

Weitere interessante Angebotskomplexe des Kombinates Automatisierungsanlagenbau in Halle 15 bilden Systemlösungen und Gerätesysteme für die Rationalisierung und Automatisierung kontinuierlicher und diskontinuierlicher Prozesse unter Einbeziehung von Softwareangeboten für Anwendungsbereiche in Industrie, Landwirtschaft und Verkehr.

Besonders hervorzuheben ist dabei das Automatisierungssystem MSA 5000. Dieses moderne leistungsfähige, modulare strukturierte System für die Optimierung von Prozessen in der Gebäudeautomatisierung, in der Landwirtschaft und im Verkehr führte in bereits realisierten Objekten zu bedeutenden Energie- und Arbeitszeiteinsparungen.

Dem Leistungsprofil des KAAB folgend, ist auch in Halle 18 das diesjährige Messeangebot durch Erzeugnislösungen auf dem Gebiet der Automatisierung charakterisiert. Mit dem Prozeßleitsystem audatec (Bild 3) wird dem Besucher der Halle 18 eine ausgereifte Automatisierungskonzeption am Beispiel eines 100-MW-Kraftwerksblock vorgestellt. Durch den Einsatz eines 16-bit-Leitcomputers für die Betriebsleit- und Dispatcherebene in das Prozeßleitsystem wird der Nachweis höchster ökonomischer Effekte erbracht. Zugleich entsprechen alle Komponenten des Prozeßleitsystems den besonders hohen Sicherheitsanforderungen der Energieerzeugung in Kraftwerken.

Zur Überwachung von komplexen Energiesystemen wird mit dem Schaltanlagen- und Informationssystem SIS/HS-Bereichslastverteilung eine weitere Anlage vorgestellt, die sich gegenüber der bisher eingesetzten Technik durch wesentlich vereinfachte Bedienung, optimale Prozeßführung und Datenspeicherung auszeichnet. Reduzierter Wartungsaufwand, verringerter Platzbedarf und erhöhte Zuverlässigkeit führen zu hohen ökonomischen Ergebnissen.

Eine effektive Energieverteilung und -ausnutzung ermöglicht auch die weiterentwickelte Niederspannungsverteilungsanlage VESAstat, deren Bausteinprinzip, variable Parameter und vielseitige Kombinierbarkeit eine optimale Anpassung an die jeweiligen Versorgungsaufgaben ermöglicht. Diese, mit mikroelektronischer Sekundärtechnik ausgestattete Schaltanlage, garantiert durch den ausgereiften Aufbau eine hohe Funktionssicherheit. Weitere Anlagen und Geräte sind Hochspannungsschaltzellen CSIM-3-12 und elektronische Blindleistungsregler eBR 52. Die Hochspannungsschaltzellen CSIM 3-12 gehören zu den kleinräumigen Schaltanlagensystemen mit ausgezeichneten Betriebseigenschaften. Durch den Einsatz elektronischer Sekundärtechnik können komplizierteste Schutzvarianten untergebracht werden. Die Ausführung CSIM 3-12 kann sowohl mit bewährten ölarmen Schaltern als auch mit modernen leistungsfähigen Vakuumschaltern versehen werden. Besonders hervorzuheben ist eine Blindleistungskompensationsanlage mit einem neuentwickelten Regler eBR 52 in einer Ausführung als Kreisregler. Einchip-Mikrorechner ermöglichen gegenüber herkömmlich ausgerüsteten Reglern eine Vielzahl von Funktionen. Eine wirksame Senkung der Blindleistungsverluste und somit eine optimale Energieausbeute sind meßbare ökonomische Effekte des elektronischen Blindleistungsreglers, der mit Anschlußmöglichkeiten für 6 bzw. 12 Kondensatorenabzweigen ausgerüstet werden kann.

Weiterhin gehören zum Messeangebot Geräte und Anlagen der Hochspannungsprüftechnik. Schwerpunktexponat ist eine in Funktion befindliche automatisierte Wechselspannungsprüfanlage. Ihre Prozeßführung erfolgt durch eine speicherprogrammierbare Steuerung und einen AC 7150, der als Auswerterechner fungiert. Für den Einsatz in der Kabelfehlerortung ist das weiterentwickelte Teilentladungsmeßsystem MS TE 3/k vorgesehen.

Hingewiesen sei schließlich auch auf das große Sortiment des Kombinats von Geräten der Hochspannungsmeßtechnik für Wechselspannungen, von gießharzisolierten Mittelspannungswandlern sowie von Niederspannungs- und Allfrequenzwandlern.

Das Angebotsspektrum des Kombinats Automatisierungsanlagenbau umfaßt auch modernste Erzeugnisse der Druck- und Durchflußmengenmeßtechnik. Mit den audapas-Druck- und Differenzdruckumformern stehen den Anwendern Geräte zur Verfügung, die die jeweiligen Eingangssignale der zu messenden Druckwerte in international genormte elektrische Signalparameter umwandeln.

Audapas-Druck- und Differenzdruckmeßumformer sind in der Verfahrenstechnik, insbesondere in explosionsgefährdeten Anlagen, in Sauerstoffanlagen sowie im Kraftwerksanlagenbau als zuverlässige und präzise Geräte bekannt. Auch audaflux-Volumen und Durchflußmeßgeräte haben auf internationalen Märkten einen guten Ruf. Besonders hervorzuheben sind audaflux-Wälzkolben- und Woltmanzähler — auch sie sind in Halle 18 ausgestellt.

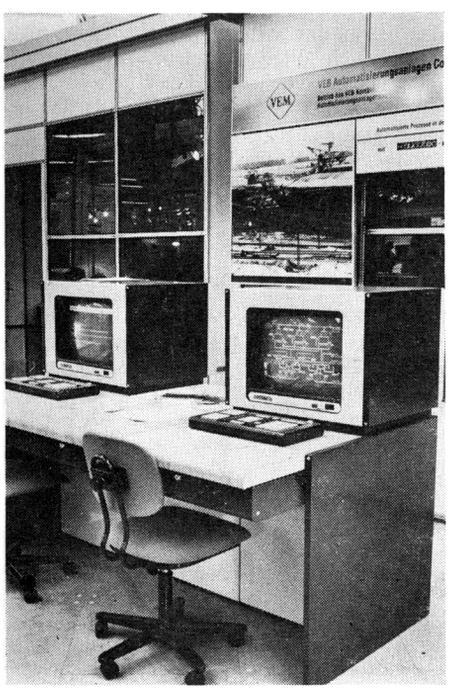


Bild 3.
audatec-Leitzentrale für die Rohstoffgewinnung

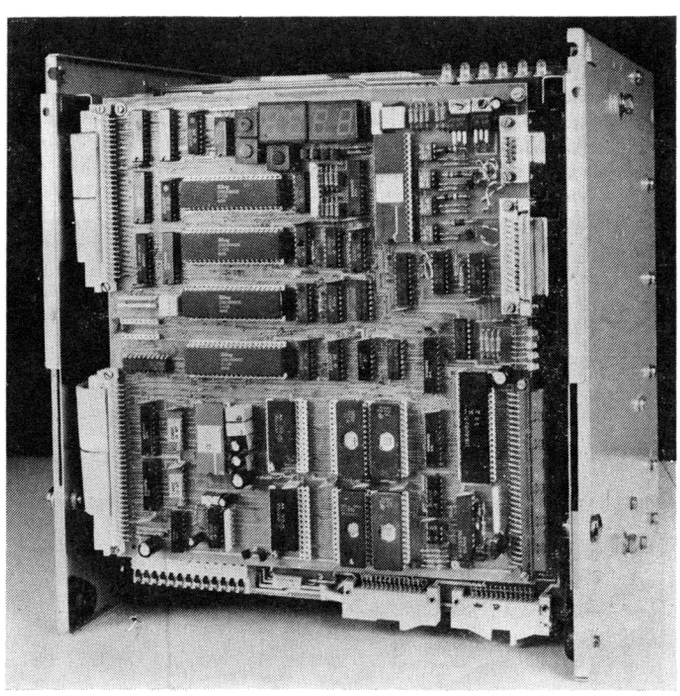


Bild 4
Stromrichter der Baureihe DT-0-digital aus dem THYRESCH-Stromrichter-Programm, ausgerüstet mit einem 16-bit-Mikroprozessor, anschlußfest, volldigitalisiert und prozeßstabil für hochwertige Antriebsregelungen in Be- und Verarbeitungsmaschinen, insbesondere in Werkzeugmaschinen

In einem weiteren Angebotskomplex demonstriert das Kombinat Automatisierungsanlagenbau seine Erfahrungen und Leistungsfähigkeit in der Transformatorenherstellung. Auf dem Freigelände von Halle 18 sind 11 verschiedene Transformatoren mit Leistungen von 100 kVA bis 70 MVA zu sehen. Innerhalb dieser Leistungsbreite sind insbesondere die Transformatoren TD 2500 — 30 CU und G 30/30 hervorzuheben. Sie verkörpern mit ihren technischen Parametern Höchststand im Transformatorenbau.

W. Ziemann, Berlin EA 3004

Kombinat VEB Lokomotivbau Elektrotechnische Werke „Hans Beimler"

LEW-Spitzenprogramm auf der Leipziger Frühjahrsmesse 1989

Progressive Technologien und mikroprozessorgesteuerte Technik prägen das LEW-Angebot, mit dem sich das Kombinat würdig in die internationale Leistungsschau einreiht. Auf dem Gelände der Technischen Messe werden Maschinen, Anlagen und Ausrüstungen gezeigt und über das vielfältige Know how- und Engineering-Programm sowie den Bildungsexport informiert.

Komfort im Berliner Nahverkehr

Ausgereifte Konstruktion und perfekte Technik, Mikro- und Leistungselektronik in Traktions- und Steuerkreis sind für den modernen Viertelzug der Baureihe 270 bestimmend (Bild 1). Er besteht aus Triebwagen und Beiwagen, die im Betriebsdienst als Halb-, Dreiviertel- oder Vollzüge verkehren. Der Wagenkasten ist in Leichtbauweise gefertigt. Damit reduziert sich die Eigenmasse, der Energieverbrauch sinkt. Aluminiumkonstruktionen sind darüber hinaus korrosionsarm und erfordern nur geringen Wartungsaufwand, Gleichstromstellertechnik (Chopper) mit kombinierter Nutz-/Widerstandsbremse sichert weitere Energieeinsparungen bis zu 35% und erhöht den Fahrkomfort. Verlustarm wird die Fahrmotorenspannung gesteuert; Bremsenergie geht in das speisende Netz zurück. Sichere Bremssysteme sind Garantie für hohe Betriebszuverlässigkeit. Fahrgastfreundliche Gestaltung, ansprechendes Design sowie arbeitserleichternde Einrichtungen für das Bedienpersonal zählen zu den weiteren Pluspunkten des neuen Triebzugs, der für den S-Bahn-Verkehr in Berlin eingesetzt ist.

Fahrkomfort kennzeichnet auch den neuen elektrischen Triebzug GI/1-DiV für die Berliner U-Bahn. Der Wagenkasten ist in Stoff- und Formleichtbauweise ausgeführt, verarbeitet wurden korrosionsarme und wartungsfreundliche Aluminiumbleche und Aluminiumprofile. Der Doppeltriebwagen ist energieoptimal. Für die Fahrgastraumheizung wird die Abwärme der Anfahr-/Bremswiderstände genutzt. Vorteilhaft ist, daß mit der installierten Fahrmotorenleistung schnelle Beschleunigungen und Verzögerungen erreicht werden, wie sie durch kurze Abstände zwischen den Haltepunkten bedingt sind. Leistungsstarke Bremssysteme, mikroelektronische Steuerung, wirksame Schutzkonzeption der elektrotechnischen Ausrüstung garantieren hohe Betriebssicherheit, bieten den Reisenden Fahrkomfort und dem Bedienpersonal bedeutende Arbeitserleichterungen.

Intercity-Triebzug — attraktiv auf nicht elektrifizierten Strecken

Der vierteilige dieselelektrische Intercity-Triebzug Typ DE-IC 2000 N-OSE (Bild 2) wird auf nicht elektrifizierten normalspurigen Strecken über die Jahrhundertwende hinaus aktuell sein. Mikroprozessorgesteuerte Traktionsausrüstung, eine im Blending-Verfahren mit der pneumatischen Bremse kombinierte elektrodynamische Widerstandsbremse sichert wirtschaftlichen Fahr- und Bremsbetrieb. Hoher Fahrkomfort wird gleichfalls durch Mikroelektronik vorprogrammiert. Die Fahrgastraumklimatisierung beispielsweise ist mikroprozessorgesteuert. Hohe Laufgüte, niedriger Innenschallpegel sowie kupferbedampfte Thermofenster mit hervorragenden Wärme- und Schalldämmeigenschaften tragen zum Wohlbefinden der Reisenden bei. Arbeitserleichterungen für das Bedienpersonal bietet die übersichtliche und ergonomisch günstige Anordnung der Bedienmeldesysteme. Überwachungsfunktionen sind weitgehend in die Mikroprozessorsteuerung integriert. Elektronische Brandmeldeeinrichtungen und automatische Feuerlöschanlagen sowie mikroelektronische Überwachungs- und Schutzsysteme erhöhen die technische Sicherheit und beugen Gefahren vor.

Elektronenstrahl-High-Tech für Zukunftswerkstoffe

Mit leistungsstarken LEW-Elektronenstrahlanlagen sind hochschmelzende und reaktive Metalle, wie Molybdän, Niob, Tantal, Titan, Zirkon und deren Legierungen ultrarein schmelzbar. Aber auch Stähle erhalten Werkstoffqualitäten, die mit anderen Verfahren nicht erreichbar sind. Für Metallurgie, Mikroelektronik und Werkstoffforschung entwickelte LEW gemeinsam mit dem Forschungsinstitut Manfred von Ardenne einsatzorientierte Leistungsgrößen von 80 bis 600 kW. Qualitäts- und Leistungsverbesserungen sichern Anlagen mit Vorherd. Sie garantieren einen extrem hohen Reinheitsgrad der Schmelze und ermöglichen die Verarbeitung schwerkompaktierbaren Materials. Weitere kombinierbare Baugruppen sind Strahlführungseinrichtungen für das Schmelzen und Schweißen von Pellets, Kristallisatoren, mit denen runde oder eckige Ingots herstellbar sind, sowie die produktive Zweiseitenbeschikkung und axiale Drehwerke, die eine höhere Homogenität beim Schmelzen von Legierungen gewährleisten.

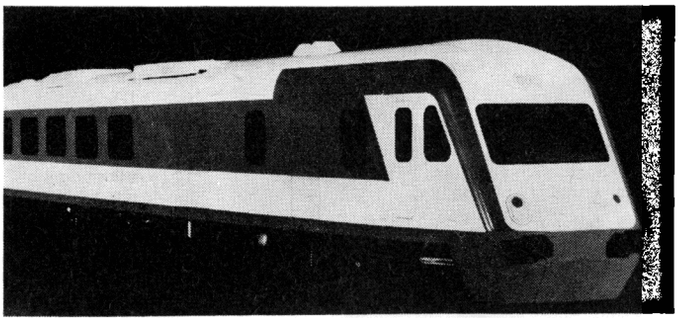
Das Schmelzen im Hochvakuum garantiert eine hohe Entgasungsrate. Ausgezeichnete technologische Flexibilität wird durch unabhängige Regelung von zugeführter Schmelzleistung und Umschmelzgeschwindigkeit erreicht. Doppelter Blockabzug sichert maximale Produktivität.

Kontinuierliches Metallbandbedampfen mit Elektronenstrahlanlagen

Für das Metallbandbedampfen in Forschung und Kleinproduktion der Metallurgie, Mikroelektronik und Werkstofforschung enthält das LEW-High-Tech-Programm Elektronenstrahlbedampfungsanlagen mit je 2 mal 30 kW, 80 kW und 300 kW Leistung (Bilder 3 und 4). In einem geschlossenen Kreislauf unter Hochvakuum beschichten sie Metallbänder in Breiten von 100 bis 300 mm mit anderen Metallen, zum Beispiel Aluminium, Kupfer, Eisen, Molybdän, Nickel, Tantal, Titan und deren Legierungen. Bedampft wird einseitig und beidseitig in unterschiedlichen Dicken. Auch Drahtbeschichtungen und Strukturherstellung sind möglich. Erreicht werden mit den erzeugten duktilen Schichten ab 1 µm Oberflächengüte, Korrosionsschutz und funk-

Bild 1. Nahverkehrstriebzug Baureihe 270 für die S-Bahn Berlin

Bild 2. Modell des vierteiligen dieselelektrischen Intercity-Triebzuges Typ DE-IC 2000 N-OSE



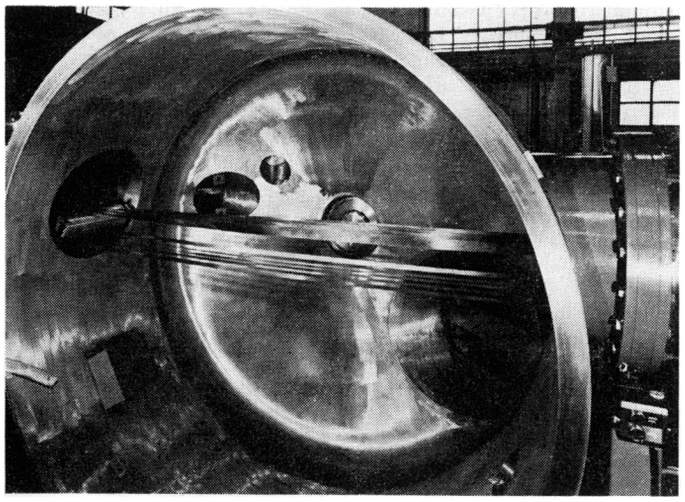


Bild 3. Elektronenstrahl-Bandbedampfungsanlage EBA 100-30/30
Blick in die Bedampfungskammer mit Band

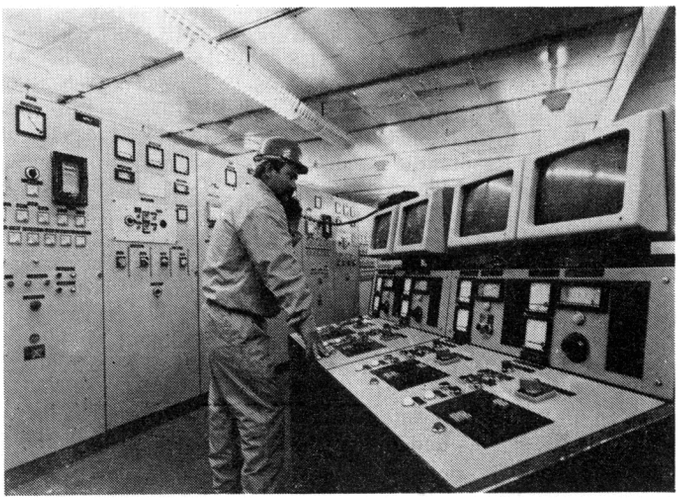


Bild 6. Computerleitstand einer mit Netzfrequenztiegelöfen ausgerüsteten Gießerei

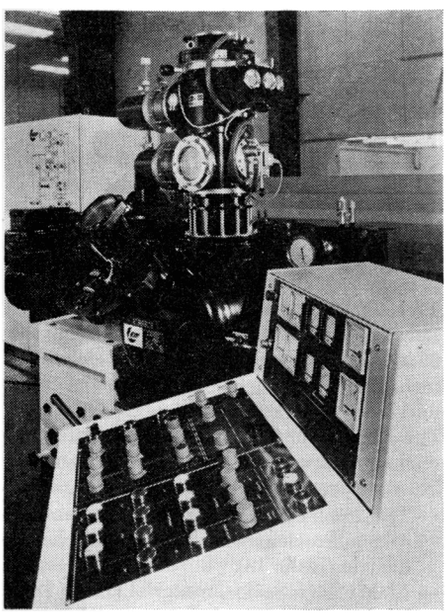


Bild 4. Blick auf die Steuerzentrale und Elektronenstrahl-Kanone für eine Schmelzanlage EMO 60

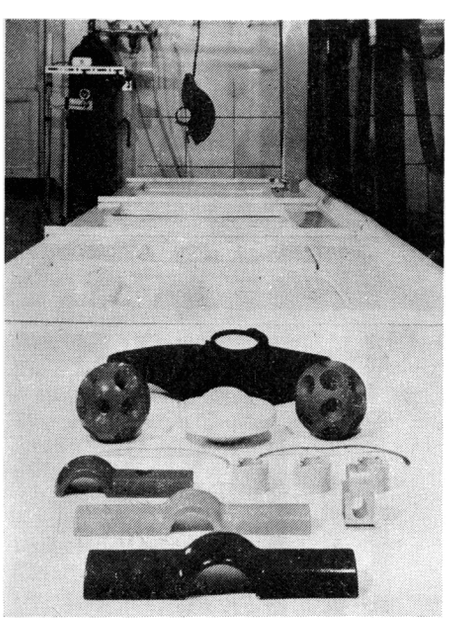


Bild 5. Galvanikanlage mit ANOF-beschichteten Musterteilen

tionelle Eigenschaften. Modifizierbare Baugruppen erschließen weitere Einsatzmöglichkeiten wie das Rekristallisations- und Blankglühen. Im Vergleich zu anderen Verfahren ergeben sich beim Elektronenstrahlbedampfen Materialeinsparungen bei Beschichtungswerkstoffen von 50%.

Superfeste Keramikschichten für Dentalimplantate

Mit der anodischen Oxidation unter Funkenentladung lassen sich langzeitstabile, funktionelle und dekorative Oberflächen bei sperrschichtbildenden Metallen — Aluminium, Titan, Niob, Tantal — erzeugen. Realisiert wird das von der Technischen Universität Karl-Marx-Stadt entwickelte ANOF-Verfahren mit LEW-Galvanotechnik (Bild 5). Einsatzorientierte Oberflächen speziell für die Medizintechnik werden mit der neuen Microdent-Anlage erzielt. Dentalimplantate zum Beispiel erhalten im plasmachemisch injizierten Prozeß der Gas-Festkörper-Reaktion keramikartige Schichten. Die Microdent-Anlage ist im standardisierten Rastermaß aufgebaut; Bauteile lassen sich unkompliziert austauschen und variieren. Daraus erschließt sich ein breites Nutzungsfeld für das Beschichten von Klein- und Kleinstteilen in Medizin- und Labortechnik. ANOF-Anlagen sind bedien- und wartungsarm. Ein eigenes Fördersystem — ohne separates Stützsystem — steigert die Produktivität. Die Elektrolyte sind umweltfreundlich. ANOF-High-Tech wird weiterhin für die Metallveredlung in der Elektrotechnik/Elektronik, der Feinmechanik/Optik und in der chemischen Industrie genutzt.

Industriecomputer steuert Prozesse beim Gußeisenschmelzen

Das netzwerkfähige Konzept des Industriecomputers ICA 710 wurde optimal den Bedingungen des Schmelzens, Überhitzens, Warmhaltens und Sinterns in Netzfrequenz-Induktions-Tiegelschmelzöfen Typ NFTO-Fe angepaßt. Spezifisch rationalisiert ICA 710.30 die technologischen Prozesse und optimiert die Steuerungen (Bild 6).

Betriebliche Vorgänge, wie aktueller Ofenbetriebszustand und ablaufende Folgeprozesse, sind jederzeit vom Monitor ablesbar. Ergebnis ist eine Steigerung der Arbeitsproduktivität von 5% durch minimierte Nebenzeiten. Präzise Prozeßführung reduziert den Energieeinsatz um 2 bis 3%. Der Netzfrequenz-Induktions-Tiegelschmelzofen Typ NFTO-Fe gehört zu den leistungsstarken Erwärmungsanlagen mit einem Nennfassungsvermögen von 10000 kg Gußeisen. Die Ofenleistung beträgt 3000 kW, die Schmelzleistung je Stunde 3100 kg.

IMUF-Leistungselektronik steuert Mittelfrequenz- Induktions-Erwärmungsanlagen

Mittelfrequenz-Induktions-Erwärmungsanlagen realisieren in hoher Qualität das Schmelzen, Schmieden und Härten metallischer Werkstücke. Moderne Leistungselektronik steigert ihre Produktivität und erhöht die Effektivität. Der statische Mittelfrequenzumrichter IMUF steuert, regelt und überwacht perfekt jeden Prozeß. LED-Anzeige ermittelt zuverlässig alle Betriebszustände. Ergebnis ist, daß gegenüber rotierenden Umformern der Energieverbrauch um 25% sinkt. Der Umrichter hat keine mechanisch bewegten Teile; Verschleiß ist dadurch fast ausgeschlossen. Automatisch an die Arbeitsfrequenz angepaßt, werden keine Schaltgeräte benötigt. Überhöhte Einschaltströme entstehen nicht.

Energiesparen durch mikroprozessorgesteuerten Temperaturverlauf

Kammeröfen mit Silitstab-Beheizung werden vorrangig als Glühöfen für die Wärmebehandlung metallurgischer Werkstoffe oder als Brennöfen für keramische Erzeugnisse genutzt. Einsatzorientierte Temperatur ist qualitätsbestimmend und entscheidet über die Wirtschaftlichkeit. Speziell für den Kammerofen SKO 1350/56-40-75 wurde ein Mikroprozessor entwickelt. Bei den verschiedensten Wärmebehandlungsprozessen — Glühen, Härten, Erwärmen, Sintern, Brennen, Schmelzen im Temperaturbereich 1350 °C — entstehen beim Nutzer durch garantierte Leistungsparameter bedeutende Effekte. Die Anheizzeit von 20 °C auf 1350 °C beträgt nur 2,2 h; zum Anheizen sind 55 kWh notwendig. Der Leerlaufverbrauch in einer Stunde bei der höchsten Temperatur beträgt 7,8 kWh.

Industrieroboter erhöht Produktivität von LEW-Galvanotechnik

In hoher Qualität realisieren TAR-Gestellautomaten des Typs BEG 3,0—1,8 die

chemische und elektro-chemische Oberflächenbehandlung metallischer Werkstücke. Mit dem Industrieroboter IRS 650 werden alle technischen und technologischen Prozesse künftig noch besser beherrscht. Optimal der Konstruktion angepaßt steuert der Roboter die Beschickungs- und Entnahmeeinrichtung. Die projektierte Automatenkapazität wird damit komplett genutzt; Produktivität und Effektivität steigen. Gleichbedeutend ist die Beseitigung körperlich schwerer und monotoner Arbeit.
Neuentwickelt wurde auch die automatische Trommeldeckelentriegelung und -verriegelung für den Galvanisiertrommelautomat Typ TAR, der den Automatisierungsgrad um 10% erhöht und die Arbeitsproduktivität steigert.

Selbstverlöschende und schwerentflammbare Basismaterialien für betriebssichere Mikroelektronik

Durchkontaktierte Leiterplatten in Fein- und Feinstleitertechnik beherrschen komplizierte mikroelektronische Steuerungen auf Schiffen, in Werkzeugmaschinen und in der Kommunikationstechnik. Qualitätsbestimmender Baustein sind kupferkaschierte Epoxidharz-Glashartgewebe-Laminate. Mit einsatzorientierten elektrischen, mechanischen und thermischen Eigenschaften, Measlingfestigkeit, Lösungsmittelresistenz sowie geringer Wasseraufnahme und minimaler Quellung erfüllen sie die hohen Anforderungen der Mikroleitertechnik. In ihrem Brandverhalten entsprechen sie nach UL 94 der Underwriters Laboratories Inc. (USA) sowie NEMA- und IEC-Publikation. Das Basismaterial rüstet Schaltungen hochbelasteter und komplexer Ablagen mit größter Betriebssicherheit aus. Mit ein- oder beidseitiger Kupferbelegung von 17,5 bis 70 µm steht für unterschiedliche Einsatzgebiete ein reichhaltiges Angebot zur Verfügung.
Schwerentflammbarkeit nach Stufe VO ist bei kupferkaschiertem Phenolharz-Hartpapier-Laminat Typ FR2-VO entsprechend UL 94 international bestätigt. Dieses Basismaterial zeichnet sich durch seine Verarbeitungsparameter für das vollautomatische Bestücken von Leiterplatten moderner Unterhaltungselektronik ebenso wie für Bereiche der kommerziellen Mikroelektronik aus. Es ist mit geringen Stanzkräften kaltstanzbar, dimensionsstabil in Quer- und Längsrichtung und beständig gegen aggressive Medien und Lösungsmittel.

Folienglimmerbänder isolieren zuverlässig elektrische Leiter

Hohe technologische Anpaßbarkeit, kurze Aushärtezeiten, elektrische Dauerfestigkeit und Stabilität kennzeichnen das Folienglimmerband Typ NMB 270. Das vorimprägnierte Band für das Resinrich-System der Wärmebeständigkeitsklasse F ist ohne Bindemittelzugaben optimal für das Herstellen der Hauptisolierung von Formspulen und Ständerstäben verarbeitbar. Isolierungen rotierender elektrischer Maschinen, wie Traktionsmaschinen, Walzwerkmotoren, Turbo- und Hydrogeneratoren, sind damit betriebssicher ausgelegt. Leiterteile mit schwierigem Profil und kleinen Biegeradien, die im isolierten Zustand noch einer Nachverformung unterliegen, erhalten elektrische Zuverlässigkeit durch das kaltflexible Glimmerband Typ NMB 310. Wickelkopf- und Schaltendenisolierungen in Elektromaschinen sowie Hochspannungs-Ständerwicklungen von Maschinen mit Spannungen von 2,5 bis 15,75 kV werden damit qualitätsgerecht ausgerüstet.
Das Band NMB 350 isoliert vor allem Einzelleiter der Wärmebeständigkeitsklasse F. Geringe Wanddicke von 0,11 mm läßt eine Biegung um 180° zu und ermöglicht den Einbau isolierter Leiterbündel in die vorgegebenen Nuten. Bei maschineller Umwicklung der Kupferleiter entsteht eine falten- und hohlraumfreie überlappte Isolierung. Wickeldrähte für Hochspannungsmaschinen der Reihen 6 kV und 10 kV werden blitz- und schaltspannungssicher.

Langzeitstabile Isolation für Kommutatoren

Isolierlamellen hochbeanspruchter Kommutatoren — beispielsweise Traktionsmaschinen — sind mit Glimmermikanit Typ NMK 2000 leistungsstark ausgelegt. Hohe Laufzeit und Rundlaufgenauigkeit sind das Ergebnis. NMK 2000 ist bis 180°C thermisch belastbar, zeichnet sich durch geringe Dickentoleranzen aus und ist durch sehr gute Stanzbarkeit verarbeitungsfreundlich. Niedriger Formierungsschwund von durchschnittlich 0,5% senkt die Belagformierungen von 7 auf 5. Beim Bau großer Kommutatoren reduziert sich damit die Anzahl der Formierungsprozesse.
Glimmermikanit Typ NMK 2000 wurde durch eine Goldmedaille der Leipziger Messe 1988 qualitätsbestätigt.

Korrosionsschutz für kupferkaschierte Basismaterialien

Mit der Entwicklung verfärbungsgeschützter Kupferfolie wird der internationalen Forderung von Leiterplattenherstellern nach ungeschliffenem Basismaterial Rechnung getragen. Die bei geschliffenem Material auftretende Verfärbung bei hoher thermischer Beanspruchung in Verbindung mit Sauerstoff, wie sie beim Preßprozeß, aber auch bei Lagerung und Transport auftreten kann, wird mit dem neuen Material wesentlich vermindert. Auf der Lötseite hat die Folie einen wirksamen Schutz; Verfärbungen an Randzonen kupferkaschierter Laminate treten dadurch kaum auf. Reinigungsarbeiten entfallen. Mit einer Nenndicke von 0,035 mm eignet sich verfärbungsgeschützte Kupferfolie vorzüglich für das Herstellen kupferkaschierter Basismaterialien.

Hohe Qualität für Mehrebenenschaltungen

Spezifische Qualität für Mehrlagenleiterplatten in 4-, 5- und Mehrebenenschaltungen hat der kupferkaschierte Epoxidharz-Schichtpreßstoff S2M — NL 0,6. Er ist für die Herstellung von 4-Ebenen-Schaltungen nach „schwimmender" Preßtechnologie besonders optimal. Das Basismaterial ist durch hohe Wärmebeständigkeit bei Aufschmelzvorgängen sowie Löt- und Reparaturlötprozessen anwenderfreundlich. Durch Freigabe von Underwriters Laboratories Inc. (USA) erfolgte eine internationale Qualitätsbestätigung.

H.-J. Schwettke, Henningsdorf EA 2989

Kombinat VEB Keramische Werke Hermsdorf

Leistung im Zeichen des Tridelta

Ein Potential von 23000 Facharbeitern, Technikern und Wissenschaftlern prägt das Leistungsprofil des Kombinates. Mehr als 60000 Einzelerzeugnisse zeichnen sich durch technische Reife, hohe Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit aus.
Zur LFM 1989 ist das Kombinat mit zahlreichen Exponaten der Haupterzeugnislinien vertreten:

— Technische Keramik für die Elektrotechnik, Mikroelektronik und chemische Industrie (Halle 18)
— Elektroinstallationsmaterial (Halle 18)
— Niederspannungsschaltgeräte (Halle 18)
— Explosionsgeschützte Leuchten und Installationsmaterial (Halle 18)
— Hybridbauelemente und keramische passive Bauelemente (Halle 15).

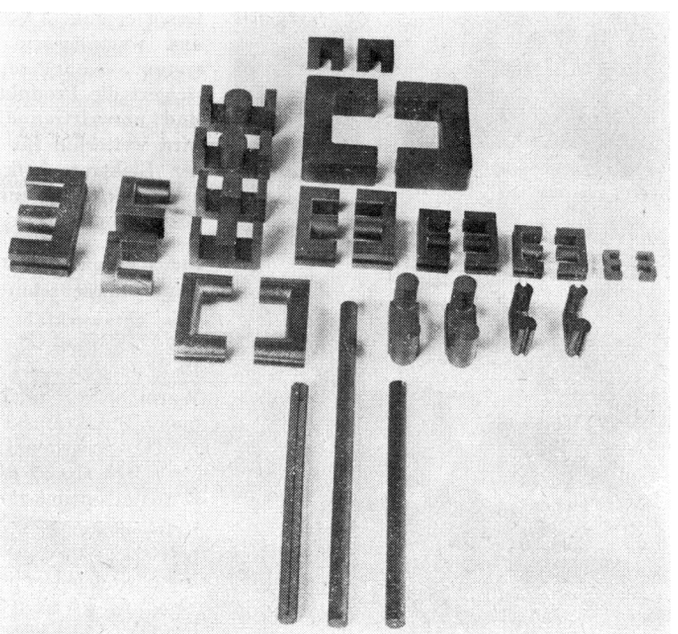


Bild 1
Hochleistungsferrite

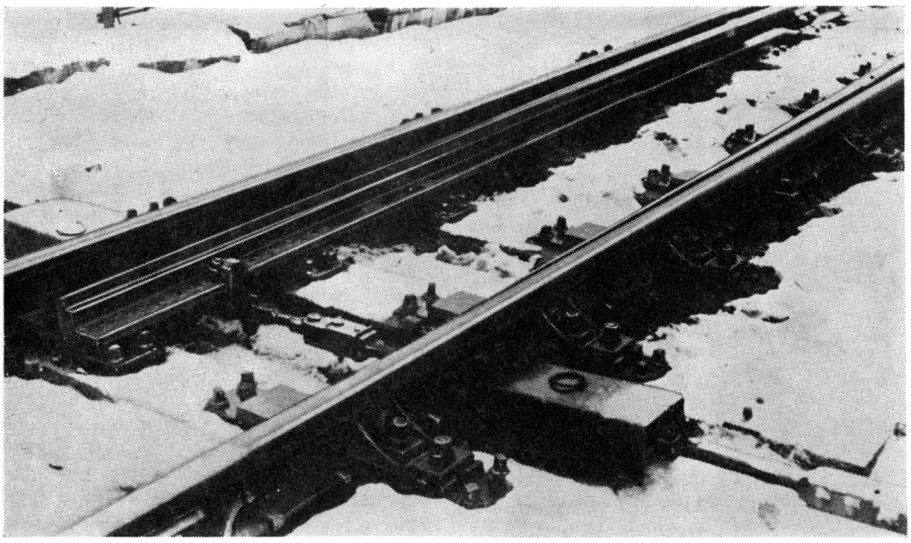


Bild 2
Weichenheizung

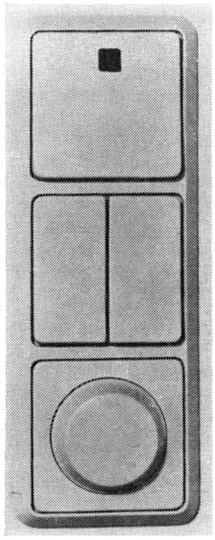


Bild 3
Rahmenprogramm „Sonform"

Im Rahmen des Innovations — und Applikationszentrums für keramische Werkstoffe im Mittelschiff der Halle 18 werden Applikationsbeispiele folgender Erzeugnisse ausgestellt:

— PTC-Widerstand
als wesentliches funktionsbestimmendes Bauteil in der energiesparenden Kompaktentladungslampe E 27
— Piezokeramische Mikrotranslatoren
zur Feinpositionierung im Mikrometerbereich für den Einsatz als Positionierelement in Hochtechnologien
— Hochdichte Mn-Zn-Ferrite und Bariumtitanat-Stützkeramik für die Fertigung hochwertiger Aufzeichnungs- und Wiedergabeköpfe der Speichertechnik
— PTC-Heizkeramik
für industrielle Anwendungen wie Thermostatisierung von elektronischen Bauelementen oder Schaltgeräten, Kfz-Gemischvorwärmer, für die Konsumgüterindustrie in Ondulierstäben, Warmhalteplatten, Klebstoffpistolen u.a.
— Keramik für die Mikroelektronik
• Keramikgehäuse
für EPROM-Schaltkreise und SMD-Bauelemente
• UV-lichtdurchlässige Keramikdeckel zum hermetischen Verschließen von Gehäusen für mikroelektronische Programmspeicher
• Substrate
für die Leistungselektronik und für Thermodruckköpfe u.a. Anwendungen
— Profilmagnete
für Antriebsmotoren in Werkzeugmaschinen und Robotern.

Nachfolgend werden Spitzenerzeugnisse aus dem Kombinat näher beschrieben.

Leistungsferrite aus den Werkstoffen Manifer 196 und Manifer 198

Die aus den genannten Werkstoffen hergestellten U- und E-Kerne verschiedener Typen werden als Leistungsüberträger und Speicherdrosseln auf allen Gebieten der Elektronik eingesetzt (Bild 1).
E-Kerne dienen speziell zum Aufbau von Schaltnetzteilen im Frequenzbereich bis 100 kHz (Manifer 196) bzw. bis 300 kHz (Manifer 198).
Der EDT-Kern wurde als technisch und ökonomisch optimierte Variante für den Einsatz in Schaltnetzteilen bei höheren Frequenzen entwickelt.

Flachovaler Heizstab für Weichenheizungen in Gebieten mit extrem niedrigen Temperaturen

Mit dem neuentwickelten Erzeugnis wird ein Isolationswiderstand von 10 MΩ erreicht.
Die spezifische Heizleistung beträgt 500 und 700 W m^{-1}.
Diese hohen Heizleistungen sind in extremen Kältezonen der Erde zum Schnee- und Eisfreihalten von Weichen erforderlich (Bild 2). Die Funktionssicherheit ist bis — 40 °C garantiert.
Die Lebensdauer der Weichenheizstäbe beträgt 2400 h.

„Rahmenprogramm — Neues Desgin" sowie „Schalter und Steckdose für Einbau — wassergeschützt"

Die zu dem Gerätesystem gehörenden Einzelgeräte ermöglichen, ihrem jeweiligen Verwendungszweck entsprechend, das Ein- und Ausschalten vorwiegend elektrischer Beleuchtungsstromkreise einschließlich dem Helligkeitsstellen von Leuchten, das lösbare Verbinden ortsveränderlicher Elektroinstallationsgeräte an festinstallierte elektrische Stromkreise sowie das Anschließen bzw. lösbare Verbinden von gebräuchlichen Informations- und Kommunikationsgeräten an entsprechende installierte Leitungen (Bild 3).
Der Einsatz der Gerätesysteme erfolgt vorwiegend im Wohnungsbau einschließlich der Altbausanierung und im Gesellschaftsbau.

Hochdichte Bariumtitanat-Stützkeramik

Der Bariumtitanatwerkstoff für Stützkeramik wird nach modernen technologischen Verfahren hergestellt und hat ein hochdichtes Gefüge bei geringster Restporosität (annähernd theoretische Dichte).
Er hat hohe mechanische Festigkeit und ist als Stützkeramik für die rationelle Fertigung hochwertiger Aufzeichnungs- und Wiedergabeköpfe besonders geeignet.
Ein dem magnetischen Werkstoff angepaßter Ausdehnungskoeffizient, homogenes, extrem porenarmes Gefüge und günstiges Verschleißverhalten sind Eigenschaften, die die Realisierung einer langen Lebensdauer der Magnetköpfe auch bei hohen Leistungsbeanspruchungen ermöglichen.
Die Bariumtitanatstützkeramik ist für die Glaslöt- und Glasverklebungstechnik geeignet.

Die Keramik wird speziell zur Herstellung von Digitalmagnetköpfen der Foliespeichertechnik (floppy disk head cores) und für TPI-Double Side-Magnetköpfe der Doppelkopflaufwerke in Slimline-Ausführung eingesetzt.

Chr. Bittner, Hermsdorf EA 2988

Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg"

„Licht nach Maß" das energieeffektive Beleuchtungsprogramm von NARVA

Das Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg" verfügt über langjährige Erfahrung bei der Herstellung von Lichtquellen, Leuchten und entsprechendem Zubehör. Komplettiert mit neuesten Erkenntnissen aus der eigenen Forschung bürgen die NARVA-Produkte für beste Qualität in Sachen Licht.
In den 13 Betrieben des Kombinats produzieren die insgesamt 15000 Beschäftigten

— 100% des Lichtquellenaufkommens
— 60% der Zweckleuchten
— 40% des Wohnraumleuchten-Sortiments und
— 100% der Vorschaltgeräte der DDR.

NARVA exportiert etwa 40% seiner Erzeugnisse in 65 Länder der Welt.
Das Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg" hat mit seinem Produktionsprofil einen entscheidenden Beitrag zur Sicherung der Energiebilanz der DDR zu leisten und trägt damit eine große volkswirtschaftliche Verantwortung.
Licht gehört zum Grundbedarf jeder Gesellschaft. Ohne künstliche elektrische Beleuchtung ist gegenwärtig keine moderne gesellschaftliche Entwicklung denkbar.
In der DDR, einem entwickelten Industrieland, werden rund 10% der gesamten Elektroenergie, in Spitzenzeiten bis zu 15%, für Beleuchtungszwecke benötigt. Deshalb ist der rationelle Energieeinsatz auf diesem Gebiet von erheblicher volkswirtschaftlicher Relevanz. Immerhin gehört die DDR

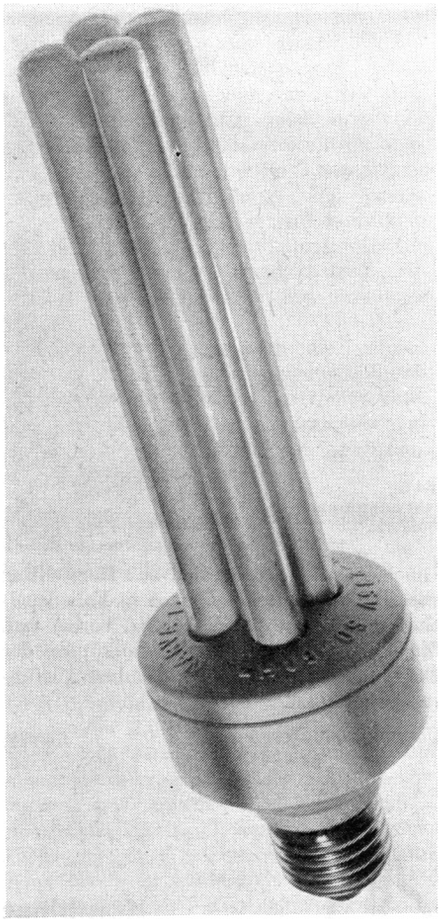


Bild 1

zu den Industrieländern mit der Zielstellung, den steigenden gesellschaftlichen Beleuchtungsbedürfnissen mit sinkendem Elektroenergieaufwand zu begegnen.

Die Hauptaufgabe des Kombinats VEB NARVA „Rosa Luxemburg" besteht in den nächsten Jahren darin, durch die Entwicklung und Produktion von lichttechnischen Erzeugnissen mit wesentlich verbessertem energetischen Wirkungsgrad eine absolute Senkung des Elektroenergieverbrauchs für Allgemeinbeleuchtung in allen gesellschaftlichen Bereichen der DDR zu sichern.

Das bedeutet eine Reduzierung von Beleuchtungsenergie im laufenden Fünfjahrplanzeitraum um etwa 20%. Diese Menge entspricht einem Kraftwerk der Leistungsgröße von 400 bis 500 MW. Dieser Trend nach energieeffektiven Beleuchtungslösungen hat internationalen Charakter. In seiner Forschungsarbeit konzentriert sich das Kombinat verstärkt auf die Entwicklung und Produktion von Erzeugnissen, die bei geringstem Energieverbrauch eine hohe Lichtausbeute und eine lange Lebensdauer haben.

Dazu gehören vorrangig der verstärkte Einsatz und die Weiterentwicklung der energieökonomischen Hochdruckentladungslampen, der Leuchtstofflampen, vor allem in kompakter Form, der Halogen- und Reflektorglühlampen. Ebenso ist das dazu notwendige lichttechnische Zubehör, wie Vorschalt- und Zündgeräte aber auch Zweck- und Wohnraumleuchten mit besserem energetischem Wirkungsgrad herzustellen.

Zur Leipziger Frühjahrsmesse 1989 wird das Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg" entsprechende Beispiellösungen zeigen.

Energieeffektive Lichtquellen von NARVA für höchste Beleuchtungsansprüche

1988 begann das Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg" mit der Produktion der kompakten Schraubsockellampe mit integriertem elektronischem Vorschaltgerät (Bild 1). Dieses Spitzenerzeugnis wird mit NARVALUX electronic LVE bezeichnet und bisher nur von wenigen Firmen in der Welt hergestellt. In dieser Kompaktlampe sind Erfahrungen der Lichttechnik mit den Vorzügen der Mikroelektronik vereint. Sie hat eine sechsmal längere Lebensdauer und verbraucht bei gleichem Ausleuchtungseffekt nur noch etwa 20% der für Glühlampen notwendigen Elektroenergie. Ein weiterer Vorteil ist der durch den Schraubsockel mögliche problemlose Austausch gegen diese herkömmliche Lichtquelle. So können die Kompaktlampen NARVALUX electronic LVE in den Leistungsgrößen 15 und 20 W die Allgebrauchslampen 75 und 100 W ersetzen.

In diesem Jahr wollen die Werktätigen des Kombinats VEB NARVA „Rosa Luxemburg" 100000 Stück vorwiegend für den Einsatz in der Industrie-, Geschäfts- und Objektausleuchtung produzieren.

Als Beispiellösung zur Durchsetzung einer energiesparenden Beleuchtung hat das Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg" im Dezember 1988 gemeinsam mit dem Wohnungsbaukombinat Berlin in Hellersdorf einen Wohnkomplex ausgeleuchtet. Dabei wurden die Funktionsbereiche Keller, Treppenhaus, Küche, Bad und Flur der 51 Wohnungseinheiten mit Kompaktlampen und den entsprechenden Leuchten ausgerüstet. Die Einsparung je Jahr beträgt allein für diesen Wohnkomplex 10000 kWh Elektroenergie. Die Erfahrungen der Mieter werden in diesem Jahr ausgewertet und bei der weiteren Arbeit berücksichtigt. Immerhin gibt es in der DDR 6 Millionen Haushalte, die in den genannten Beleuchtungsbereichen jährlich 2 Milliarden Kilowattstunden Elektroenergie verbrauchen.

Speziell in der Außenbeleuchtung haben sich Natriumdampf-Hochdrucklampen bewährt. Durch sehr hohe Lichtausbeutewerte und gute betriebstechnische Eigenschaften tragen sie entscheidend dazu bei, energie- und kostengünstige Beleuchtungsanlagen zu erreichen. NARVA stellt eine breite Palette der Natriumdampf- und Hochdruckentladungslampen her. Damit ist die Möglichkeit gegeben, allen Anforderungen in bezug auf den Einsatz dieser energieeffektiven Lichtquellen sowohl in der Außen- als auch zum Teil in der Innenraumbeleuchtung gerecht zu werden.

Zur Leipziger Frühjahrsmesse 1989 bietet NARVA eine neue farbverbesserte NA-Lampe in zwei Ausführungen an, die aufgrund ihrer guten Farbwiedergabeparameter eine Bereicherung speziell für die Innenraumbeleuchtung darstellen.

Die für die energieeffektiven Entladungslampen erforderlichen Vorschalt- und Zündgeräte werden von NARVA ebenfalls weiterentwickelt. Das dokumentieren beispielsweise die Vorschaltgeräte für 230 V

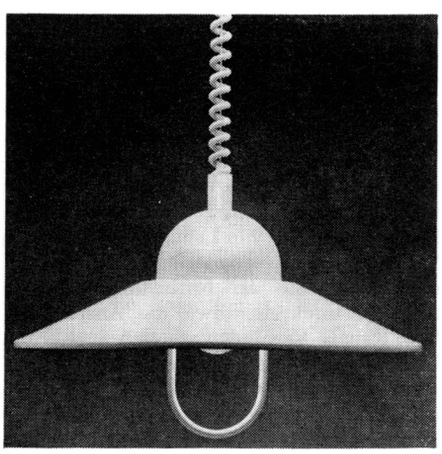


Bild 2

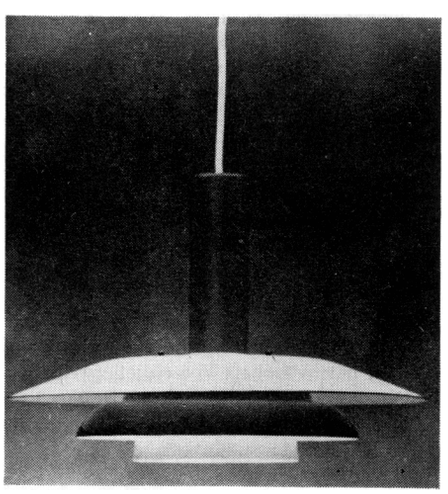


Bild 3 ▶

Bild 4

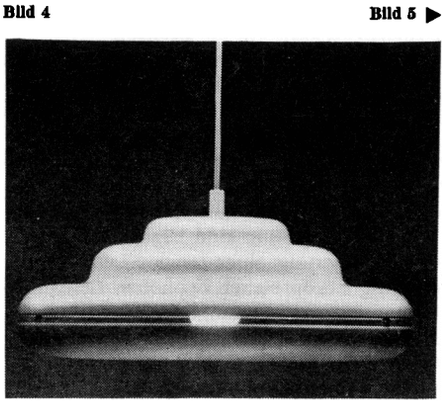
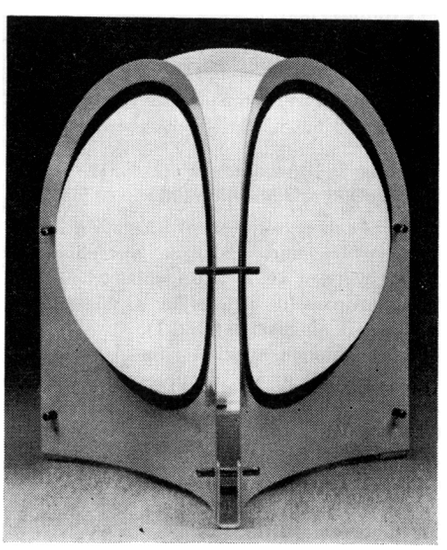


Bild 5 ▶



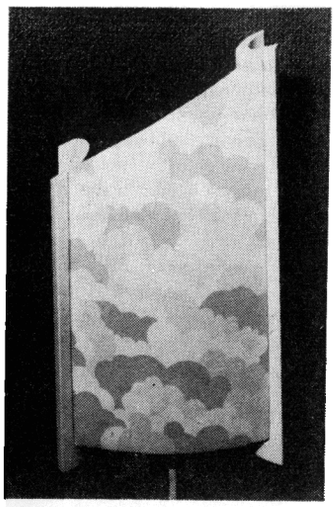


Bild 6

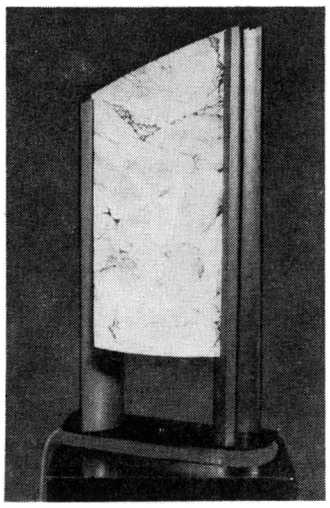


Bild 7

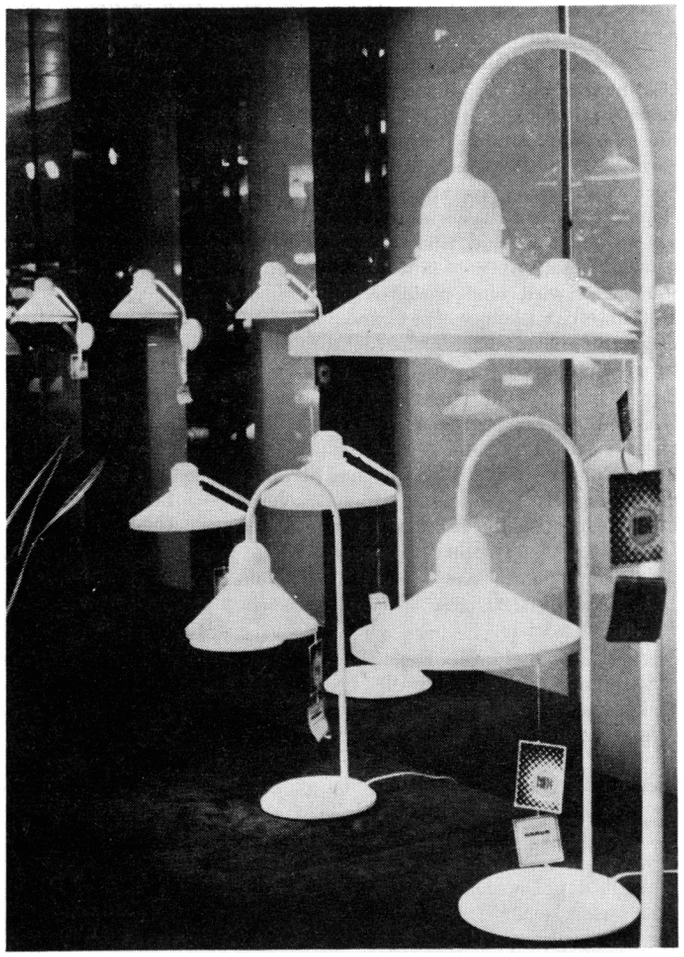


Bild 8

Netzspannung in der Bauhöhe 32 mm für Leuchtstofflampen und die Vorschaltgeräte für Hochdruck-Entladungslampen in der Ausführung tw 130.

Wohnraumleuchten von NARVA wirtschaftlich und wirkungsvoll

Um höchsten Beleuchtungsansprüchen gerecht zu werden, aktualisiert NARVA ständig sein umfangreiches Wohnraumleuchten-Programm. Die Weiterentwicklung und größere Einsatzfähigkeit wirtschaftlicher Lichtquellen bestimmt in zunehmendem Maße die internationale Leuchteninnovation. Besonderes Interesse gilt Wohnraumleuchtenmodellen und Sets, speziell für den Einsatz energieökonomischer Lampen entwickelt (Bilder 2 bis 5).

Das Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg" wird den Besuchern und dem Fachpublikum zur Leipziger Frühjahrsmesse 1989 Lampen und Leuchten in kompletter Anwendung für den Wohn- und Arbeitsbereich sowie zum Thema Objektausleuchtung präsentieren.

Der NARVA-Leuchtenbaubetrieb Lengefeld stellt z. B. neue Varianten eines Sortiments für den Wohnungsbau mit energieeffektiven Lichtquellen (Kompakt- und Doppelrohrlampen) vor.

Eine Weiterentwicklung ist auch ein Leuchten-Set mit Natursteinelementen (Bilder 6 und 7). Das Sortiment „Flachglas", ebenfalls ein Lengefelder Erzeugnis, besteht aus Hänge-, Steh- und Ständerleuchte und eignet sich bevorzugt für eine dekorative Objektausleuchtung.

Der NARVA-Leuchtenbaubetrieb Deutschneudorf ergänzt sein vorhandenes Kinderzimmer-Beleuchtungsprogramm um eine Neuentwicklung. Als Grundmaterial sind dafür sowohl Acryl als auch Flachglas vorgesehen. Diese Leuchten können wahlweise mit Kompakt- oder Glühlampen bestückt werden. Die Deutschneudorfer jugendgemäße Wohnraumleuchten-Variante aus Biegeholz- und Flachholzteilen in moderner Farbgestaltung mit auswechselbaren PVC-Abschirmungen komplettiert, fand bereits zur vergangenen Leipziger Messe großen Anklang. Dieses Sortiment, ausgezeichnet mit dem Prädikat „Gutes Design" vom Leipziger Messeamt und dem Amt für industrielle Formgestaltung, ist ebenfalls mit energieeffektiven NARVA-Lichtquellen (Doppelrohrlampen LD 9 und LD 11) ausgerüstet.

Die kleine kompakte Bauform der Halogen-Niedervoltlampen ist ein entscheidender Anstoß für das aktuelle Leuchten-Design und die Konzeption zeitgemäßer Beleuchtungssysteme. Weitere wichtige Eigenschaften des Halogenlichts sind eine gute Farbwiedergabe, hohe Lichtausbeute sowie eine lange Lebensdauer. Als Beispiel bietet der NARVA-Leuchtenbaubetrieb Leipzig zur Erweiterung seines Objektleuchtensortiments zwei neue Leuchten-Sets mit Halogenlampen 20 und 50 W an.

Zur Leipziger Frühjahrsmesse 1989 werden die NARVA-Leuchtenbaubetriebe aus Leipzig, Lengefeld und Deutschneudorf den Messebesuchern insgesamt ein breites Angebot hervorragend gestalteter Leuchten der neuen Generation mit energieökonomischem Licht vorstellen (Bild 8).

Eine vielfältige Auswahl von Wohnraumleuchten in unterschiedlichen Stilarten werden weitere Leuchtenbaubetriebe der DDR präsentieren. Die Palette umfaßt u. a. Modelle in bäuerlich-rustikaler Gestaltung, Metall-Leuchten in sachlich-klarem Design, elegante Keramik-Leuchten sowie Kristall-Leuchten für vorwiegend repräsentative Beleuchtungsaufgaben. Interessante Form- und Farbvarianten dokumentieren Wohnraumleuchten mit Abschirmungen aus Schleuderglas.

Technische Leuchten von NARVA für perfektes Licht

Kombinierfähige Lichtsysteme haben sich international durchgesetzt. Die in Schienen- und Rohrform angebotenen Varianten von

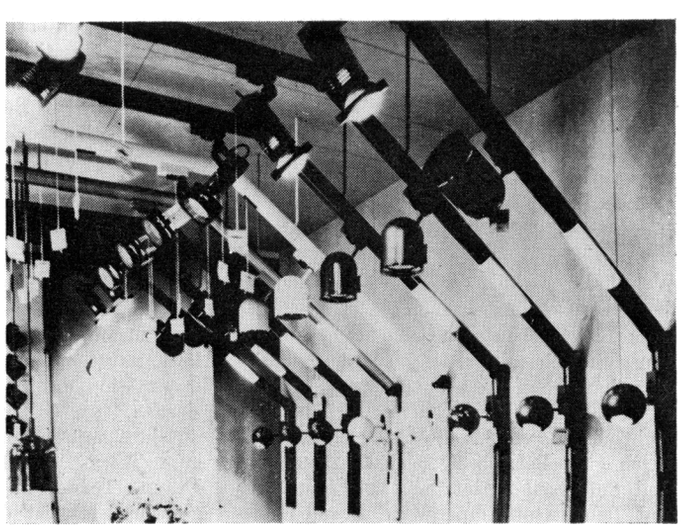


Bild 9

NARVA zeichnen sich durch hohe lichttechnische Leistungsfähigkeit und exklusives Design aus (Bild 9).

Die neutralen, variablen Grundelemente lassen zahlreiche individuelle Kombinationen zu und ermöglichen dadurch ein ausgesprochen breites Anwendungsgebiet. Das Spektrum reicht von Schaufenstern und Geschäften über Foyers und Ausstellungen bis zu Galerien und Büros. Mit verschiedenen Befestigungs- und Verbindungselementen wird eine perfekte Flexibilität innerhalb der Lichtsysteme ermöglicht und insgesamt eine repräsentative Lichtarchitektur geschaffen.

Zur Leipziger Frühjahrsmesse 1989 bietet NARVA als Ergänzungen für das energieeffektive Lichtsystem NTG 220 u.a. ein neues Rohrsegment für LS 18, einen Strahler für Halogenlampen sowie Hängeleuchten mit hochwertigem Aluminiumspiegel für Leuchtstoff- und Doppelrohrlampen.

Auch der Einsatz von Kleinstrahlern mit Halogenlampen 20 oder 50 W am System wird demonstriert.

Für eine anspruchsvolle Innenraumbeleuchtung eignen sich Strahler in besonderem Maße. Sie setzen Lichtakzente mit äußerst dekorativem Effekt. Als praktische, attraktive und wirtschaftliche Lichtspender mit hohem Gebrauchswert haben sich die Strahler in Museen, Galerien, Geschäften aber auch am Arbeitsplatz und im Wohnbereich bewährt. NARVA trägt diesem Trend Rechnung und präsentiert zur Leipziger Frühjahrsmesse 1989 ein erweitertes Angebot an Strahlerleuchten. So kommt aus dem Leuchtenbaubetrieb Arnsdorf eine neue Variante des Systems Super-Vario-Spot II.

Gute Lichtverhältnisse am Arbeitsplatz tragen nicht unwesentlich zum Wohlbefinden und zur Leistungsfähigkeit bei. Ungefähr 90% der Sinneseindrücke und damit der Informationen werden über das Auge aufgenommen. Gutes Licht ist eine der wichtigsten Voraussetzungen des Sehens. Entsprechend des Feinheitsgrades der Sehobjekte wird die Anforderung an die Beleuchtung festgelegt; wobei mit höheren Anforderungen an die Sehdetails auch die Beleuchtungsansprüche steigen. So hat die zunehmende Ausstattung von Büro- und Konstruktionsarbeitsplätzen mit Bildschirmgeräten Konsequenzen für die Beleuchtungstechnik.

Mit Arbeitsplatzleuchten von NARVA können komplizierteste Sehaufgaben gelöst werden. Beispielsweise bietet das Sortiment „Arbeitsplatzleuchten", ausgerüstet mit einem optimierten Reflektor für gerichtetes Licht, besten Beleuchtungskomfort. Mit dem Sortiment „Federzugleuchten" zeigt das Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg" modern gestaltete Beleuchtungsvarianten für Doppelrohrlampen in interessanten Farbgebungen.

Durch verschiedene Befestigungs- und Bewegungselemente, wie Tischklemmen und Wandhalter, sind diese Metall-Leuchten flexibel anwendbar.

Hohe Lichtausbeute und eine lange Lebensdauer sind charakteristisch für die energiewirtschaftlichen Leuchtstofflampen. Diese in vielen Farben und Formen erhältlichen Lichtquellen von NARVA zeichnen sich durch gute Betriebseigenschaften aus und sind universell einsetzbar. Das Leuchten- und Leuchtstofflampenwerk Brand-Erbisdorf stellt erstmalig unter Verwendung seiner Stableuchtstofflampen-Varianten eine dem internationalen Trend entsprechende Palette von Leuchtstofflampenträgern vor. Auf dem Gebiet der technischen Leuchten präsentiert NARVA weitere Neuheiten bzw. Weiterentwicklungen, die vorwiegend mit energiesparenden Lichtquellen bestückt sind. Dazu zählen:

— eine Deckenanbauleuchte mit Plast- bzw. Glasabdeckung für Doppelrohrlampen 11 W
— eine kleine Deckenanbauleuchte für 4 bzw. 6 Leuchtstofflampen 18 W
— eine Feuchtraumleuchte für 1 × LS 36 im Schutzgrad IP 65
— eine Schienenfahrzeugleuchte für Reisezugwagen sowie
— eine Bühnenleuchte mit symmetrischer Lichtverteilung für Halogenlampe 1000 W.

Das Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg" wird zur Frühjahrsmesse 1989 sein umfangreiches Angebot an Leuchten, Lichtquellen und Zubehörteilen traditionell in dem in der Leipziger Innenstadt gelegenen Messehaus „Handelshof" ausstellen.

M. Schlag, Berlin EA 2982

RFT

VEB Kombinat Nachrichtenelektronik

RFT-Kommunikationssystem im Mittelpunkt des Angebots zur Leipziger Frühjahrsmesse

Der VEB Kombinat Nachrichtenelektronik gibt einen umfassenden Einblick in sein Exportprogramm, das mit flexiblen Angebotslinien spezifischen Erfordernissen der Kommunikation Rechnung trägt. Im Mittelpunkt der digitalen Anwenderlösungen steht ein Kommunikationssystem für Büro- und Industrieautomation. Es sichert zwischen den Messehallen der Elektrotechnik/Elektronik/Informationstechnik (Hallen 15 und 18) den nachrichtentechnischen Verbund der von den Kombinaten der elektronischen und elektrotechnischen Industrie der DDR vorgestellten Komponenten bzw. Lösungen zur komplexen Rationalisierung bzw. Automatisierung betrieblicher Prozesse.

RFT-Kommunikationssystem für den automatisierten Betrieb

In besonderem Maße ist das Kommunikationssystem für Büro- und Industrieautomation Teil einer Anwenderlösung in der Messehalle 15, die im technologischen Verbund von Spitzenerzeugnissen mehrerer Kombinate den rechnergestützten Entwurf, die Produktion, Bestückung und Prüfung von Leiterplatten demonstriert. Dabei wirken die Erzeugnisse der RFT-Nachrichtenelektronik mit robotron-Personalcomputern zusammen. Kernstück des Kommunikationssystems für Büro- und Industrieautomation, das im Rahmen des „automatisierten Betriebes" in Verbindung mit Datenanschlußgeräten und Modems bei Zugang zum Telex- und Paketnetz die Sprach-, Daten-, Text- und Festbildkommunikation gewährleistet, ist die datenfähige digitale Nebenstellenzentrale NZ 400 D/384 (Bild 1). Mit ihren Betriebsmöglichkeiten ist sie nicht nur ein Kommunikationssystem, das mit neuen Fernmeldediensten den Anforderungen betrieblicher Kommunikation in hohem Maße entspricht, sondern das auch durch Anschaltung an das öffentliche Datennetz über die Schnittstelle X.25 die Funktion einer Datennebenstellenanlage übernimmt. Außerdem wird über den Digitalanschluß der Nebenstellenzentrale NZ 400 D/384 durch den VEB Kombinat Robotron ein Lokales Netz mit der Anwenderlösung ROLANET realisiert.

Digitale Nebenstellenzentrale für Text- und Datenkommunikation

Die vollelektronische, mikrorechnergesteuerte Nebenstellenzentrale NZ 400 D/384 für 128 bis 384 Teilnehmerleitungen und maximal 48 Hauptanschluß- bzw. Verbindungsleitungen sowie maximal drei Bedienplätze ist größter Typ des Anlagensystems NZ 400 D für die Digitalisierung von Betriebsnetzen. Mit ihr steht dem Anwender ein komfortables Sprachkommunikationssystem zur Verfügung, das die Realisierung aller international eingeführten Leistungsmerkmale ermöglicht. Die hohe Qualität der Fernsprechverbindungen bietet optimale Bedingungen für die Datenfernübertragung mit Modem oder die Nutzung von Fernkopierern zur Festbildkommunikation.

Das Systemkonzept der NZ 400 D ermöglicht die Text- und Datenkommunikation nach digitalen Prinzipien. Mit zusätzlichen Datenteilnehmersätzen TSDX, der Datenanschlußeinrichtung DAE und dem entsprechenden Softwaremodul für den Zentralrechner wird die Nebenstellenzentrale zur Datenvermittlungsstelle.

Fernschreiber F 2000 mit Bildschirm und Diskette

Im Rahmen des Kommunikationssystems für Büro- und Industrieautomation kommt neben Kleinvermittlungsanlagen des Systems UVA und Komfort-Fernsprechendgeräten erstmals der mikroprozessorgesteuerte Fernschreiber F 2000 mit den Zusatzeinrichtungen Textbearbeitungseinheit TE 2000 und Bildschirmeinheit K 7222 zum Einsatz (Bild 2). Der RFT-Sende- und Empfangsfernschreiber wird dadurch zu einer modernen Einrichtung der Bürokommunikation mit Einsatzmöglichkeit als Büroarbeitsplatz für die Textbearbeitung. In dieser Konfiguration bietet er Groß- und Kleinschreibung mit einem qualitativ hochwertigem Schriftbild, automatisch zeitprogrammierbarer Sendung, Anrufbeantwortung zur Übermittlung einer Information bei unbesetztem Fernschreiber, Textspeicherung im elektronischen Speicher (32 KByte) oder auf Diskette (640 KByte) sowie moderne Textbearbeitung am Bildschirm.

Ein weiterer Bestandteil des Kommunikationssystems ist das neue Wechselsprechgerätesystem „Welton-400" (Bild 3). Mit diesem internen Steuerinstrument lassen sich bis zu 89 gleichartige Geräte linienförmig über ein NF-Leitungsnetz miteinander verbinden.

Mikrorechnergesteuertes Fernbeobachtersystem

Zur automatischen Überwachung von Arbeitsprozessen innerhalb der automatisier-

Bild 1. Büro-Arbeitsplatz auf der Basis einer digitalen Nebenstellenanlage NZ 400 D mit Bedienstation, ausgestattet mit Fernsprechapparat „Apart 2510", Datenmodem VM 2400 und Personalcomputer PC 1715

Bild 2. Textbearbeitungseinheit TE 2000 für F 2000

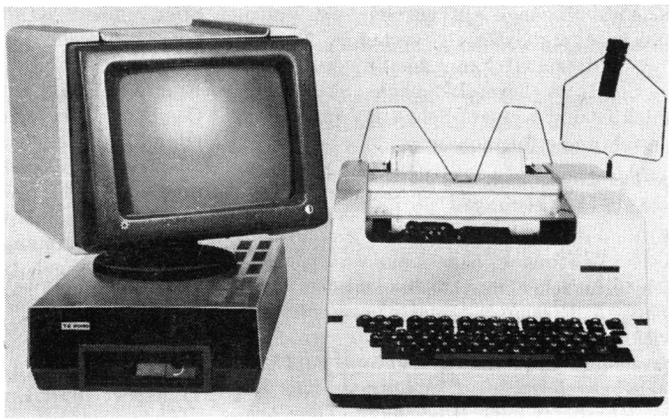


Bild 3. Wechselsprechgerätesystem „Welton 400"

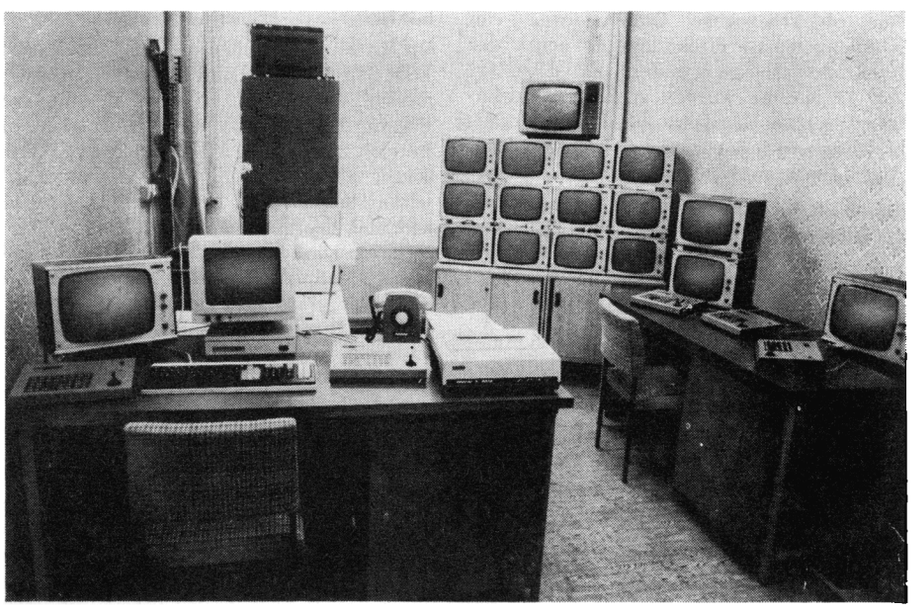


Bild 4. Mikrorechnergesteuertes Fernbeobachtungssystem

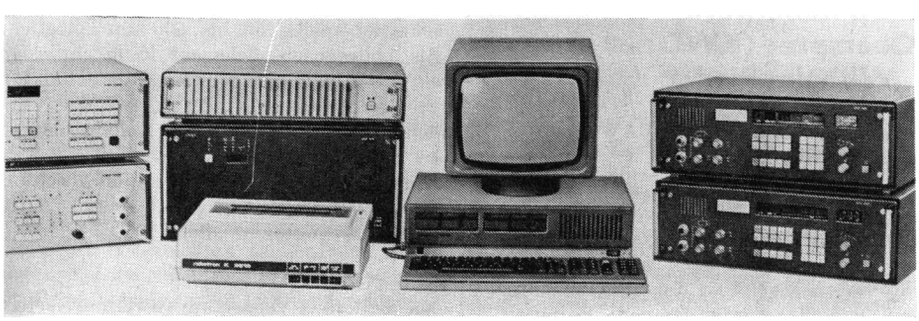
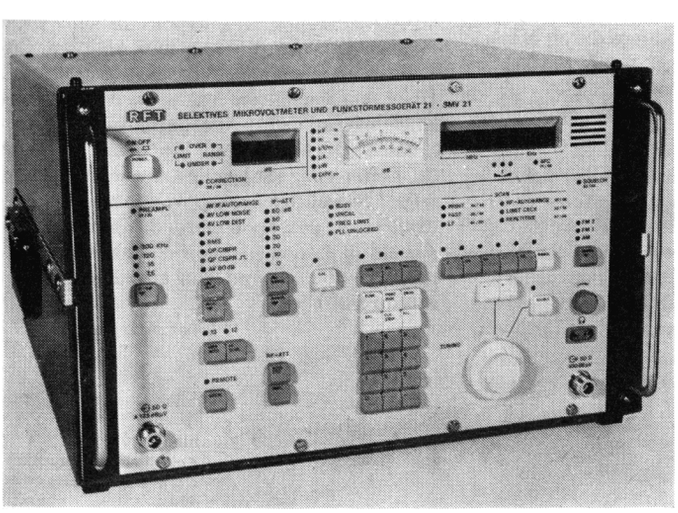
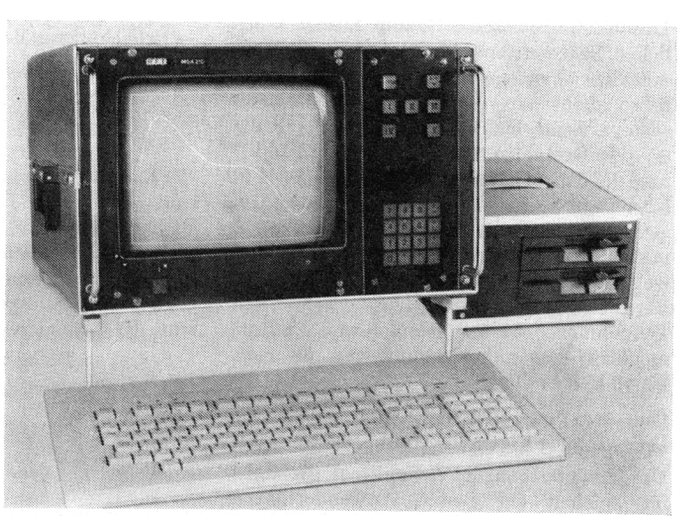


Bild 5. Mikrorechnergesteuertes Funksystem „CINRAS"

Bild 6. Selektives Mikrovoltmeter und Funkstörungsmeßgerät 21 (SMV 21)

Bild 7. Modulares Signalanalysatorsystem MSA 200





ten Leiterplattenherstellung in der Messehalle 15 wird ein neuentwickeltes mikrorechnergesteuertes Fernbeobachtersystem eingesetzt. Mit ihm lassen sich bis maximal 96 Videoeingänge auf maximal 96 Videoausgänge matrixförmig verteilen. Parallel zum Videosignal kann die Steuerung von maximal 96 Fernsehkameras mit Varioobjektiv und Kamera-Schwenk- und Neigeeinrichtung erfolgen.

Breites Angebot wissenschaftlich-technischer Leistungen

Zu diesem Angebot gehören ingenieurtechnische Leistungen, Ergebnisse wissenschaftlich-technischer und technologischer Forschung, Erzeugnis- und Verfahrensentwicklungen in Form von Lizenzen, von Know-how oder der Übernahme von Projektierungsleistungen. In jüngster Zeit hat das Kombinat seine Möglichkeiten zur Aus- und Weiterbildung von Fachkräften durch eine objektbezogene Qualifizierung von Kundenpersonal direkt am Standort der Nachrichtenanlage erweitert. Für diese Art der Ausbildung wurden spezielle Minizentren für eine Kapazität bis zu 20 Auszubildende sowie spezielle Schulungs- und Ausbildungsprogramme geschaffen.

Ökonomische Lösungen für die Digitalisierung der Verbindungswege

Für die Übertragung der Informationen im Rahmen des Kommunikationssystems für Büro- und Industrieautomation werden das Übertragungssystem PCM 480 S für symmetrische TF-Kabel und das Lichtwellenleiter-Übertragungssystem PCM 480 L genutzt. Sie repräsentieren die dritte PCM-Hierarchie für digitale Nachrichtenübertragung. Der Leitungstrakt PCM 480 S dient dabei zur Ablösung analoger 60-Kanal- bzw. 120-Kanal-Trägerfrequenzsysteme bei weiterer Nutzung der vorhandenen Kabeltechnik. Durch die Umrüstung bestehender Trassen erhöht sich die Übertragungskapazität auf das Acht- bzw. Vierfache.

Mit dem Lichtwellenleiter-Übertragungssystem PCM 480 L lassen sich Bündelstärken von 1920 bzw. 3480 PCM-Kanälen mit 8 bzw. 16 Lichtwellenleitern im Kabel realisieren. Eine weitere digitale Übertragungseinrichtung wird mit der Richtfunkeinrichtung PCM 120-2000 vom VEB Kombinat Robotron vorgestellt. Sie stellt 120 Kanäle für die Kommunikation bereit.

Digitales Radiotelefoniesystem

Für die Erweiterung bestehender Fernsprech- und Datennetze, den Einsatz in Landtelefonienetzen z. B. zum Ausbau ländlicher Nachrichtennetze sowie den Aufbau autarker Fernsprech- und Datensondernetze dient ein digitales Radiotelefoniesystem. Seine Hauptkomponenten sind die digitale Ortsvermittlungszentrale OZ 100 D und die digitalen Richtfunksysteme PCM 10 bzw. PCM 30 für die Anschaltung an übergeordnete Zentralen. Zu den Hauptmerkmalen zählen die Möglichkeit des schrittweisen Netzausbaus, die stationsinterne Vermittlung von Gesprächen zwischen den Teilnehmern einer Station sowie u.a. die mögliche Datenübertragung von 50 bit/s bis 48 kbit/s.

Computer Integrated Radio System automatisiert Kurzwellenfunkbetrieb

Das Angebot an RFT-Funktechnik steht im Zeichen der neuen Anwenderlösung Computer Integrated Radio System für den Aufbau eines Funksystems zur Automatisierung des Kurzwellenfunkbetriebes. „Gehirn" des Systems ist die neuentwickelte Steuereinheit KCP 1710. Die sende-/empfangstechnische Hardware sind das 1-kW-Kurzwellen-Sendesystem KSS 1300 sowie Empfänger der Typenreihe EKD 500. Das Computer Integrated Radio System CINRAS (Bild 5) ermöglicht, automatisch frequenzadaptive Funkverbindungen herzustellen und zu halten sowie selbsttätig Informationen zu speichern, zu verwalten, zu senden und zu empfangen.

Weitere Angebotspositionen sind das UKW-System U 700 für den Aufbau von Funksprechnetzen mit ortsfesten, mobilen und portablen Stationen im 2-m- und 0,7-m-Band zur Optimierung von Arbeits-, Transport- und Umschlagprozessen.

Automatisierte RFT-Meßplätze mit integrierter Mikroelektronik

Im Mittelpunkt stehen die neuen Meßplätze FSM 21/SMV 21 (Bild 6) für Funkstörmessungen sowie für selektive Messung von Pegeln, Dämpfungen und Feldstärken im Bereich 25 bis 1000 MHz. Mit dem SMV 21 lassen sich bisher manuelle Arbeiten voll automatisieren und Arbeitskräfte, Arbeitszeit und Energie einsparen.

Neu ist auch der Meßautomat MSA 210. Diese Meßplatzvariante des modularen Signalanalysatorsystems MSA 200 (Bild 7) ermöglicht die zweikanalige Analyse von Signalen im Frequenzbereich von 0 bis 300 kHz auf der Basis der Fast-Fourier-Transformation (FFT) mit hoher Auflösung und eine äußerst flexible Weiterverarbeitung der Daten mit modernen rechnergeführten Methoden der digitalen Signalverarbeitung.

Interessantes Fachvortragsprogramm

Vorgesehen sind folgende fünf Fachvorträge:

13. März 1989
14.30 bis 15.30 Uhr, Halle 7.11, Raum 3
Bürorationalisierung mit neuen Fernmeldediensten in Nebenstellenanlagen am Beispiel des Nebenstellenanlagensystems NZ 400 D

15. März 1989
16.20 bis 17.20 Uhr, Halle 7, Raum 2
Automatisierte RFT-Meßplätze mit integrierter Mikroelektronik für rationelles Messen und Prüfen

16. März 1989
14.45 bis 15.45 Uhr, Halle 7, Raum 1
Mikrorechnergesteuerter RFT-Sende- und Empfangsfernschreiber mit Bildschirm und Diskette

16.00 bis 16.45 Uhr, Halle 7, Raum 1
Zuverlässig senden und empfangen mit rechnergestützter RFT-Funkleitzentrale

17.00 bis 17.45 Uhr, Halle 7, Raum 1
Mikrorechnergesteuertes RFT-Fernbeobachtersystem zur automatischen Überwachung von Arbeitsprozessen

H. Mittank, Leipzig EA 2966

KWO

Kombinat VEB Kabelwerk Oberspree (KWO) „Wilhelm Pieck"

Aufschiebeendverschlüsse EAW für Freiluftanwendung

Vom KWO werden als Neuentwicklung aufschiebbare Einleiter-Endverschlüsse EAW für den Abschluß von Plastkabeln 10 und 20 kV in Außenanlagen vorgestellt (Bild). Sie haben gegenüber den Endverschlüssen mit Porzellanisolator folgende Vorteile:

— wesentliche Verkürzung der Montagezeit
— Erleichterung der Montage durch Massereduzierung
— Wegfall des Vergußstoffs
— sofortige Betriebsbereitschaft nach Montage.

Die Elastbauelemente dieser Endverschlüsse sind Teile des Baukastensystems „PE/VPE-Kabelendverschlüsse in Aufschiebtechnik". Für die Endverschlüsse EAW liegen Prüfnachweise für die standardisierten Garniturenprüfungen (TGL, VDE) sowie zum 1000-h-Salznebeltest und zu Schwingungsprüfungen mit unterschiedlichen Bedingungen vor. Unter Fremdschichteinfluß nach TGL 8678/03 wurde für die Endverschlüsse EAW 10 und EAW 20 die Eignung für eine Nennsteh-Schichtleitfähigkeit bis 50 µs nachgewiesen.

Jedem Kabelquerschnitt ist ein bestimmter Endverschluß EAW zugeordnet. Die Anwendung ist für alle Kabel der Querschnittsbereiche 50 bis 500 mm² möglich. Als Leiteranschlußelement kann entweder ein Anschlußbolzen oder ein Kabelschuh für Preßverbindungstechnik angewendet werden. Die Anwendung der Endverschlüsse ist für einen starren Anschluß z. B. an Sammelschienen oder für flexiblen Anschluß an Freileitungsanlagen auf Beton- oder Stahlgittermasten möglich.

Sortiment 1-kV-VPE-Kabel

Mit modernen Vernetzungsverfahren fertigt das KWO ein umfangreiches Sortiment an VPE-Niederspannungskabeln in ein- oder mehradriger Ausführung mit Al- oder Cu-Leitern im Querschnittsbereich bis 630 mm². Über den verseilten Adern wird bevorzugt eine extrudierte Aderumhüllung aufgebracht. Darüber kann ein konzentrischer Cu-Leiter oder -Schirm oder auch eine zugfeste Bewehrung aus verzinkten Stahldrähten angeordnet werden. Den äußeren Abschluß bildet in allen Fällen ein Plastmantel entsprechend den spezifischen Einsatzforderungen.

Fortsetzung auf Seite 77

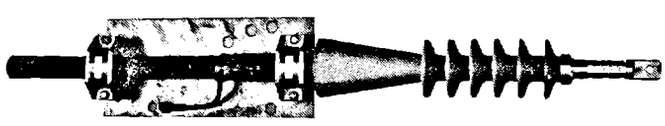


Bild 1
Aufschiebeendverschluß EAW für Freiluftanwendung

BÜCHER

MS-DOS

Von *J. Hübener*
Berlin: VEB Verlag Technik 1988
1. Auflage, 240 Seiten, 2 Bilder, 67 Tafeln.
Broschur 24,— M. Bestell-Nr. 5540975

MS-DOS zählt zu den verbreitetsten Betriebssystemen für 16-bit-Rechner. Natürlich existiert auf dem internationalen Büchermarkt eine Vielzahl von Beschreibungen und Anleitungen für dieses Betriebssystem, ungeachtet dessen ist das Buch MS-DOS eine echte Bereicherung des Marktes.
Das Buch ist ein ausgezeichnetes Nachschlagewerk für alle die Leser, die schon mit MS-DOS gearbeitet haben oder über Kenntnisse über ein anderes Betriebssystem verfügen. Andererseits ist „MS-DOS" ein Lehrbuch, das gerade das Ausprobieren an einem Computer herausfordert und durch die präzise und anschauliche Darstellung immer mit einem Erfolgserlebnis endet.
Bereits im ersten Abschnitt gibt der Autor mit Hilfe eines Schichtenmodells dem Leser sehr schnell einen Überblick, in welchem Kapitel eine Beschreibung für die Lösung des für ihn relevanten Problems zu finden ist. In den entsprechenden Abschnitten sind durch anschaulich gestaltete Tafeln in sehr kurzer und präziser Form mit der Gliederung Problem — Aufruf — Ergebnis bzw. Problem — Syntax — Operation Funktion alle Funktionen und Kommandos dargestellt. Diese Form ist für alle diejenigen Leser von unschätzbarem Wert, die an verschiedenen Rechnern mit unterschiedlichen Betriebssystemen arbeiten und deren Arbeitsgebiet sich nicht ausschließlich mit der Programmierung befaßt. Für diesen Leserkreis sind vor allem die Beispiele und Tips zur Programmierung von großem Wert.
Neben dem Betriebssystem beschreibt der Autor eine Vielzahl von Programmen, die unter MS-DOS laufen. Zusammen mit anderen in der Reihe „Technische Informatik" erschienenen Büchern ist auch hier eine schnelle Einarbeitung möglich.
Nicht zu vergessen ist die Nennung der umfangreichen Übersichten im Anhang. Das Buch ist für alle Nutzer von 16-bit-Rechnern mit Betriebssystem MS-DOS empfehlenswert. Die große Nachfrage sollte schnell zu einer weiteren Auflage führen. Dieses Buch sollte neben jedem Rechner liegen.

J. Ermisch, Dresden EA 3010

Grundlagen der informationellen Theorie der Identifikation

Von *Ja. S. Zypkin*
Übersetzung aus dem Russischen
Berlin: VEB Verlag Technik 1987. 1 Auflage. 255 Seiten, 92 Bilder, 13 Tafeln. Kunstleder, 36,— M. Bestell-Nr. 5537610

Die Identifikation von Objekten, d.h. die Bestimmung ihrer Struktur und Parameter auf der Grundlage von Beobachtungen gehört zu den fundamentalen Aufgaben der modernen Theorie und Praxis der Steuerung von Systemen. Sie ist erforderlich bei der Untersuchung der Eigenschaften und Besonderheiten von Objekten zur Bestimmung ihrer Steuerung oder bei der Entwicklung adaptiver Systeme, in denen auf der Grundlage der Objektidentifikation die optimale Steuereinwirkung zu bestimmen ist.
Einige relevante Aspekte des skizzierten Problemfeldes bilden den Gegenstand des Buches, und zwar befaßt sich der Autor konkret mit der Identifikation linearer, einvariabler, stochastisch gestörter Systeme mit konstanten Parametern, die durch Differenzengleichungen beschreibbar sind.
Die erklärte Absicht des Autors besteht dabei darin, erstens, den Zusammenhang zwischen der Identifikationstheorie und der Informationstheorie herzustellen, und zweitens, die vorhandene A-priori-Information über die Störsignale und die zu ermittelnden Modellparameter zielgerichtet für die Lösung der Identifikationsaufgabe auszunutzen. Dazu werden im wesentlichen solche Identifikationsverfahren betrachtet, denen die Methoden der stochastischen Approximation zugrunde liegen. Letztere wurden vom Verfasser bereits in früheren Publikationen (Adaption und Lernen in kybernetischen Systemen, Berlin und München 1970; Grundlagen der Theorie lernender Systeme, Berlin und München 1972) ausführlich erläutert. Ausgehend von typischen Identifikationsaufgaben, die sich entsprechend einem vorhandenen Niveau der A-priori-Information ergeben, wird insgesamt gesehen ein eindeutiger Zusammenhang zwischen optimalen Identifikationsalgorithmen und mathematischem Modell, Gütekriterien und Optimierungsverfahren hergestellt.
Das Buch ist theoretisch sehr anspruchsvoll. Theoretiker, die über fundierte Kenntnisse der Mathematik, der mathematischen Statistik und der Systemtheorie verfügen, pürften jedoch damit keine Probleme haben. Die entwickelten Ergebnisse sind interdisziplinär z.B. in der Automatisierungstechnik, Medizin, Biologie, Landwirtschaft, Ökologie, Wasserwirtschaft und Meteorologie unter der Voraussetzung ausreichend vorhandener A-priori-Informationen anwendbar.

E. Habiger, Dresden EA 2947

Überspannungsschutz von Niederspannungsanlagen — Einsatz elektronischer Geräte auch bei direkten Blitzeinschlägen

Von *P. Hasse*
Köln: Verlag TÜV Rheinland 1987. 1. Auflage, 204 Seiten, 315 Bilder, 14 Tafeln

Die Vermeidung von Überspannungsschäden in elektrischen Anlagen und Gewährleistung des funktionssicheren Betriebs elektronischer Systeme im industriellen, bürotechnischen und Wohnbereich setzt die sichere Beherrschung von Überspannungen voraus, wie sie durch atmosphärische Entladung und durch Schaltvorgänge in energietechnischen Netzen entstehen. Die damit im Zusammenhang stehenden Fragen und zu lösenden Probleme sind Gegenstand des vorliegenden Buches aus der Feder eines bekannten Autors und Fachmanns auf diesem Gebiet.
Im einzelnen werden ausgehend von Schadensstatistiken und einer Reihe sehr anschaulich geschilderter Schadensbeispiele aus der Praxis die Ursachen für Überspannungsschäden wie Gewitterüberspannungen, Schaltüberspannungen und nuklearer elektromagnetischer Puls erläutert, daran anschließend die zu ergreifenden Schutzmaßnahmen dargestellt sowie deren schrittweise Ausführung auf der Grundlage aussagekräftiger Tabellen, anschaulicher Zeichnungen und vieler Fotos beschrieben. Im weiteren werden die damit zum Einsatz kommenden Bauteile für den Blitzschutz-Potentialausgleich sowie für die Begrenzung von Überspannungen wie Anschluß- und Verbindungsbauteile, Potentialausgleichsschienen, Kabel mit Blitzschutz-

---

Das Sortiment umfaßt VPE-Kabel 0,6/1 kV der Ausführungen unbewehrte Kabel

NA2XY; N2XY	nach DDR-Standard KWO-S 431.20; IEC 502 oder VDE 0272
SE-N1XV-AS	nach SS 424 14 11
TXXP	nach NEMKO 182.52
AXMK	nach SFS 4879
U-1000 AR02V	nach NFC 32-321

Kabel mit konzentrischem Cu-Leiter

TFSP	nach NEMKO 182.52 oder NEN 194.80
AXCMK	nach SFS 4879

Stahlrunddraht-bewehrte Kabel

NA2XRY; N2XRY	nach DDR-Standard KWO-S 431.20 oder IEC 502
XLPE/SWA/PVC	nach BS 5467

Spezialkabel, wie Schiffskabel

NM2XY; NM2XCY	nach DDR-Standard TGL 45015 oder IEC 92-350

Gegenüber PVC-Niederspannungskabeln haben VPE-Kabel durch die hohen zulässigen Betriebstemperaturen von bis zu
90 °C für den Normalbetrieb
130 °C für den Störlastbetrieb
eine hohe thermische Reserve. Sie werden daher bevorzugt in hochbelasteten Niederspannungsnetzen wegen ihrer großen Störlastsicherheit eingesetzt.

Lichtwellenleiterkabel

Seit Anfang 1988 werden im KWO Lichtwellenleiterkabel (LWL) auch für den Wellenlängenbereich 1,3 µm produziert.

Das Sortiment umfaßt

- LWL mit 2, 4, 8 und 16 Festadern
- LWL mit 4, 8 und 16 Hohladern
- Bündeladerkabel (2 bis 10 LWL).

Die optischen Werte entsprechen den IEC-(794-2)- und den CCITT-(G651)-Empfehlungen. Dämpfung 0,8 bis 2,0 dB/km, Bandbreitelängenprodukt 0,2 bis 1,2 GHz · km.

schirm, Trennfunkenstrecken sowie Bauelemente und Geräte für den Überspannungsschutz (Entladungsstrecken, Varistoren, Suppressordioden, Ableiter für die verschiedensten Einsatzgebiete, Überspannungsbegrenzer für informationstechnische Anlagen sowie Schutzgeräte für Computer, Fernseh-, Video- und Hi-Fi-Anlagen u.a.) vorgestellt und abschließend anhand vieler praktischer Beispiele die Ausführung von Schutzmaßnahmen, der Einsatz von Schutzgeräten sowie die Realisierung kompletter Schutzkonzepte beschrieben, die der Autor selbst entworfen und in der praktischen Ausführung begleitet hat.
Ausführlich wird im Zuge der Abhandlung sowohl auf relevante nationale Vorschriften (DIN/VDE) als auch auf diesbezügliche internationale Vorschriften (IEC) eingegangen sowie über Erfahrungen auf Veranstaltungen der Internationalen Blitzschutzkonferenz (ICLP) berichtet.
Das Buch ist leicht verständlich und für einen breiten Adressatenkreis geschrieben. Es wendet sich an Ingenieure, Techniker, Meister und Fachkräfte, die sich mit der Planung, Konstruktion, Ausführung und Prüfung elektrischer Anlagen sowie elektrischer Geräte und Systeme und von Blitzschutzanlagen befassen. Darüber hinaus werden jedoch auch Experten in Behörden und Versicherungen angesprochen, die über Anforderungen an Blitz- und Überspannschutzanlagen zu entscheiden haben, sowie Lehrende und Lernende an Berufs- und Hochschulen bis hin zu interessierten Laien, die dem Buch nützliche Hinweise über den Überspannungsschutz der elektrischen Anlage in Wohngebäuden sowie von Personalcomputern und Anlagen der Unterhaltungselektronik entnehmen können.
Das Buch sollte in keiner EMV- bzw. Überspannungsschutz-Hand- oder Fachbibliothek fehlen.

E. Habiger, Dresden EA 2948

Einführung in die theoretische Elektrotechnik

Von *K. Küpfmüller*
12., verbesserte Auflage. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo: Springer-Verlag 1988. 584 Seiten, 623 Bilder

Das vorliegende Werk ist seit Erscheinen der ersten Auflage im Jahr 1932 in mehr als fünf Jahrzehnten gewachsen und vom Autor immer wieder verbessert worden. Dabei hat es den Ruf, eine anspruchsvolle und klassische Einführung in die theoretische Elektrotechnik zu sein, immer wieder neu bestätigt. Die ersten 10 Auflagen wurden bekanntlich vollständig von *K. Küpfmüller* gestaltet, die elfte und zwölfte zwar entscheidend durch *K. Küpfmüller* geprägt, allerdings von *G. Bosse* und *G. Kohn* bearbeitet. Bei der Gestaltung des Lehrbuches wurde stets das Ziel verfolgt, eine möglichst verständliche Gesamtdarstellung der Elektrotechnik aufzubauen, die von den theoretischen Grundlagen ausgeht. Von Anfang an hat *K. Küpfmüller* die Stoffeinteilung so gewählt, daß die Verständlichkeit im Vordergrund steht. So entstanden die folgenden acht Kapitel mit insgesamt 54 Abschnitten: Der elektrische Strom — Das elektrische Feld — Das magnetische Feld — Netzwerke — Leitungen und Kettenleiter — Allgemeine Vorgänge in linearen Systemen — Systeme mit nichtlinearen Elementen.
Charakteristisch für das Lehrbuch ist eine Verknüpfung der theoretischen Grundlagen mit Beispielen aus der elektrotechnischen Praxis. Vielfach werden auch Zahlenbeispiele angegeben. Für eine Reihe elektronischer Bauelemente — auch für Halbleiterbauelemente — wird die Wirkungsweise beschrieben. Besonders positiv ist die gelungene Verknüpfung von mathematischer Beschreibung, physikalischer Interpretation und technischer Anwendung zu bewerten, die auch die bisherigen Auflagen auszeichnete und zur Ausbildung des ingenieurtechnischen Profils beim Leser beiträgt.
Vorteilhaft ist auch das ausführliche Literaturverzeichnis.
Das Lehrbuch wendet sich in erster Linie an Studenten der Elektrotechnik an Universitäten und Hochschulen, für die es als Hilfe bei der Vertiefung und Ergänzung von Vorlesungen dienen kann. Darüber hinaus kann es Ingenieuren, aber auch Studierenden anderer Fachrichtungen zum Nachschlagen empfohlen werden.

H. Elschner, Dresden EA 2949

Synthetic Aperture Radar

Von *J. P. Fitch*
Berlin, New York, Heidelberg, London, Paris, Tokyo: Springer-Verlag 1988

Als Spezialzweig der Funktechnik hat die Radar-Technik eine selbständige, sehr progressive Entwicklung erfahren. Die Digitaltechnik hat hier sowohl bezüglich der Signalstrukturierung als auch der empfangsseitigen Verarbeitung einen starken Einfluß ausgeübt. Während ursprünglich mit Radar nur „Ziele" nach Winkel und Entfernung ermittelt wurden, ermöglicht eine komplexe Signalverarbeitung die Darstellung zweidimensionaler Bilder, wenn die Fläche abgetastet wird. Dabei kann die Auflösung wesentlich besser als die Strahlbreite sein.
Dieser Problematik ist das vorliegende Buch gewidmet. Es ist nicht als Spezialliteratur für Nachrichtentechniker geschrieben, sondern bringt eine anschauliche Einführung in diese komplizierte Problematik. Als Beispiel wird jeweils das Satelliten-Experiment „Seasat" herangezogen, jedoch auch die multivalente Anwendbarkeit der Methoden und Algorithmen, z. B. in der Tomographie und der Ultraschalltechnik allgemein, hervorgehoben. Neben der Verarbeitung der Primärdaten durch Computer, wobei entsprechende Unterprogramme in FORTRAN (Kurzform) angegeben sind, wird in einem besonderen Kapitel die optische Signalverarbeitung dargestellt.
Das Studium des Buches wird durch Zusammenfassungen, Aufgaben und Literaturangaben am Ende jedes Kapitels erleichtert.
Das Werk kann allen Nachrichtentechnikern und Nichtnachrichtentechnikern empfohlen werden, die sich mit mehrdimensionalen Signalverarbeitungsproblemen befassen.

Chr. Wobus, Dresden EA 2950

Lichtemitterdioden und ihre Anwendung

Von *M. Muchidinow; J. C. Musajew*
In russischer Sprache.
Moskau: Verlag Radio i svjaz 1988. 80 Seiten, 55 Bilder. Broschur 1,50 Mark.

Optoelektronische Bauelemente gehören heutzutage zum Grundsortiment für den Entwickler elektronischer Funktionsbaugruppen. So ist es zu begrüßen, daß das Informationsbedürfnis des Anwenders durch artspezifische und verdichtete Veröffentlichungen in zunehmendem Maße befriedigt wird. Ein Beitrag dazu ist die vorliegende Broschüre, bei der die Autoren Wert darauf legten, die wesentlichen Eigenheiten optoelektronischer Sperrschichthalbleiter und ihrer Grundschaltungen so darzulegen, daß der Nutzer nicht nur die Anwendungsmöglichkeiten und Grenzen dieser Bauelemente kennenlernt, sondern in die Lage versetzt wird, selbst geeignete Bauelemente der Optoelektronik auszuwählen und entsprechende Einsatzschaltungen zu dimensionieren.
Das wird erreicht durch systematische Gliederung eines sehr umfangreichen Stoffgebietes, Diskussion bewährter Ansteuerschaltungen und Beschreibung dimensionierter Schaltungen für spezifische Einsatzfälle. Für den praktisch tätigen Ingenieur ist neben der Besprechung der möglichen statischen und dynamischen Betriebsweise vor allem die Zusammenfassung der Methoden zur Kompensation der zeit- und temperaturabhängigen Instabilität der abgegebenen Strahlung von Interesse.
Einfache Gleichungen und grafisch dargestellte Parameterabhängigkeiten unterstützen das Eindringen in die Zusammenhänge zwischen elektrischen und optischen Größen wesentlich.
Die übernommenen Anwenderschaltungen stammen aus der Automatisierungstechnik (Inspektions- und Sensorschaltungen, Impulsgeber, Wandler mechanischer Größen) und aus der Meßtechnik (Fotometer, meteorologische Meßgeräte u.a.). Gegenüber anderen Veröffentlichungen werden insbesondere mehrstrahlige und mehrkanalige Kontroll- und Überwachungsschaltungen umfangreich dargestellt.
Im abschließenden Kapitel werden in Kurzfassung aus der Fachliteratur übernommene und dimensionierte Anzeige- und Detektorschaltungen besprochen, die hauptsächlich zur Kontrolle und Analyse von Stoff- und Materialkennwerten einsetzbar sind. Eine erfreuliche Bereicherung sind die 19, nach unterschiedlichen Gesichtspunkten geordneten Bauelementetabellen im Anhang; sie geben typbezogen Auskunft über die wichtigsten elektrischen und strahlungstechnischen Kennwerte von optoelektronischen Bauelementen sowjetischer Produktion.
Ein Blick in das umfangreiche Literaturverzeichnis verrät, daß die Autoren auch sehr viele Patentschriften ausgewertet haben. Die Broschüre ist Entwicklungsingenieuren zu empfehlen, die sich mit dem Einsatz von optoelektronischen Bauelementen beschäftigen.

G. Turinsky, Karl-Marx-Stadt EA 2077

Documentation

Fuhr, G.; Hagedorn, R.; Glaser, R.; Gimsa, J.

Dielectric Motors

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 2, pp. 45 – 50, 8 Figs., * Tables, 10 Equations, 29 Refs.

A motor type (dielectric motor), vastly unknown, is represented, its characteristic rotation behaviour is computed and different motor variants are discussed. Besides known d.c. motors both a.c. motors and rotating field motors are descibed. Starting from the advantages and disadvantages of that motor type application possibilities are seeked and to known uses of this rotation phenomenon (firstly in the biological field) is hinted. The extreme miniaturization possibilities of such motors are remarkable.

Conrad, H.

State and Trends of Developing Powerelectronic Components

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 2, pp. 51 – 54, 4 Figs., 7 Equations, 22 Refs.

The development trends of powerelectronic components (LEBE) are specified and it is pointed out, that designing new LEBE is always a compromise between physical and constructive-technological facts. LEBE, switchable off and/or on by means of the control current, e.g. bipolar power transistors, GTO-thyristors, unipolar LEBE, combined and integrated LEBE, are described in more detail as key components of the powerelectronics, and it is hinted to the problems of selecting.

Adamski, G.; Kiekbusch, A.; Kusserow, D.

Conception of a High-Gain Amplifier of Electrodynamic Vibration Exciter

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 2, pp. 55 – 57, 8 Figs., 2 Tables, 3 Equations, 8 Refs.

A high-gain amplifier of about 2,5 kVA power output was structured for an electrodynamic vibration table and was tested successfully. Finally, a conception of an LF-high-gain amplifier of 5 ··· 6 kVA power output is represented.

Jacobi, G.; Schneider, H.; Hackenberg, H.

To the Working and Joining Techniques of Conductor Rails Consisting of the Conducting Alloy of AlFeMg-E

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 2, pp. 58 – 60, 3 Figs., 1 Table, 19 Refs.

The use of the favourable properties of the represented conductor rail material AlFeMg-E is coupled with maintaining the recommendations regarding to transport, stocking, cutting working, bending, treating the contact surface, and the connecting and joining techniques. The hints are of specific value to the practician of the mounting and maintaining fields.

Beckert, U.; Neuber, W.

Digital Slip Measuring Device Adapted to the Drive Techniques

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 2, pp. 61 – 62, 4 Figs., 11 Equations, 2 Refs.

By example of measuring the slip of an asynchronous motor a new digital slip measuring method and a slip measuring device are described. It requires merely a simple impulse machine with a mark, and it has a high accuracy (0,01 %) and a short measuring time with a low expenditure of components.

Документация

Фур, Г.; Хагедорн, Р.; Глазер, Р.; Гимза, Й.

Диэлектрические Двигатели

ELEKTRIE, Берлин 43 (1989) 2, стр. 45 – 50, 8 рис., ** табл., 10 уравн., 29 лит.

Представляется мало известный тип двигателя (диэлектрический двигатель), вычисляются характерные ротационные свойства, обсуждаются разные варианты двигателя. Помимо известных двигателей постоянного тока описываются двигатели переменного тока и двигатели вращающегося поля. Исходя из преимуществ и недостатков данного типа двигателя отыскиваются возможности применения, обращается внимание на известные случаи использования данного ротационного феномена (прежде всего в области биологии). Замечательна возможность экстремальной миниатюризации подобных двигателей.

Конрад, Х.

Состояние и тенденции в разработке элементов мощной электроники

ELEKTRIE, Берлин 43 (1989) 2, стр. 51 – 54, 4 рис., 7 уравн., 22 лит.

Приводятся тенденции в разработке элементов мощной электроники и доказывается, что проектирование новых элементов мощной электроники всегда будет являться компромиссом физических и конструктивно-технологических условий. Более подробно рассматриваются элементы мощной электроники выключаемые и включаемые посредством управляющего тока, как биполярные мощные транзистры, тиристоры типа GTO, униполярные комбинированные и интегрированные элементы мощной электроники, как ключевые элементы данной техники. Обращается внимание на проблематику выбора.

Адамски, Г.; Кикбуш, А.; Куссеров, Д.

Концепция мощного усилителя для электродинамических возбудителей колебаний

ELEKTRIE, Берлин 43 (1989) 2, стр. 55 – 57, 8 рис., 2 табл., 3 уравн., 8 лит.

Для электродинамического вибростенда создан и успешно опробован мощный усилитель с выходной мощностью ок. 2,5 кВА. В заключение рассматривается концепция мощного низкочастотного усилителя с выходной мощностью 5 ··· 6 кВА.

Якоби, Г.; Шнайдер, Х.; Хаккенберт, Х.

По обработке и технике соединения шин электропитания из токопроводящего сплава AlFeMg-E

ELEKTRIE, Берлин 43 (1989) 2, стр. 58 – 60, 3 рис., 1 табл., 19 лит.

Возможность использования выгодных свойств представленного материала AlFeMg-E для шин электропитания тесно связана с соблюдением рекомендаций относительно транспортировки, хранения, обработки резанием, гибки, обработки контактных поверхностей, а также с техникой присоединения и монтажа. Приведенные указания представляют особый интерес для техников, работающих в области монтажа и технического обслуживания.

Беккерт, У.; Нойбер, В.

Цифровой прибор измерения проскальзывания для приводной техники

ELEKTRIE, Берлин 43 (1989) 2, стр. 61 – 62, 4 рис., 11 уравн., 2 лит.

На примере измерения проскальзывания асинхронного двигателя описываются новый цифровый метод измерения проскальзывания и соответствующий измерительный прибор. Данный прибор требует всего лишь простой датчик импульсов с отметкой и отмечается высокой точностью (0,01 %) и короткой длительностью измерения при небольших затратах элементов.

Dokumentation

Fuhr, G.; Hagedorn, R.; Glaser, R.; Gimsa, J.

Dielektrische Motoren

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 2, S. 45 – 50, 8 Bilder, Tafeln. 10 Gln., 29 Lit.

Ein weitgehend unbekannter Motortyp (dielektrischer Motor) wird vorgestellt, das charakteristische Rotationsverhalten berechnet und verschiedene Motorvarianten werden diskutiert. Neben bekannten Gleichstrommotoren werden Wechselstrom- und Rotationsfeldmotoren beschrieben. Ausgehend von den Vor- und Nachteilen dieses Motortyps wird nach Anwendungsmöglichkeiten gesucht und auf bekannte Nutzungen dieses Rotationsphänomens (vor allem auf biologischem Gebiet) hingewiesen. Bemerkenswert ist die extreme Miniaturisierbarkeit solcher Motoren.

Conrad, H.

Stand und Tendenzen der Entwicklung von leistungselektronischen Bauelementen

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 2, S. 51 – 54, 4 Bilder, 7 Gln., 22 Lit.

Die Entwicklungstendenzen bei leistungselektronischen Bauelementen (LEBE) werden aufgeführt und nachgewiesen, daß der Entwurf neuer LEBE immer ein Kompromiß von physikalischen und konstruktiv-technologischen Gegebenheiten ist. Auf über den Steuerstrom ein- und/oder ausschaltbare LEBE, wie bipolare Leistungstransistoren, GTO-Thyristoren, unipolare, kombinierte und integrierte LEBE, wird als Schlüsselbauelemente der Leistungselektronik näher eingegangen und auf die Auswahlproblematik hingewiesen.

Adamski, G.; Kiekbusch, A.; Kusserow, D.

Konzeption eines Hochleistungsverstärkers für elektrodynamische Schwingungserreger

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 2, S. 55 – 57, 8 Bilder, 2 Tafeln, 3 Gln., 8 Lit.

Für einen elektrodynamischen Schwingtisch wurde ein Hochleistungsverstärker mit einer Ausgangsleistung von etwa 2,5 kVA aufgebaut und erfolgreich erprobt. Abschließend wird eine Konzeption für einen NF-Hochleistungsverstärker mit einer Ausgangsleistung von 5 · · · 6 kVA dargelegt.

Jacobi, G.; Schneider, H.; Hackenberg, H.

Zur Bearbeitung und Fügetechnik von Stromschienen aus der Leitlegierung aus AlFeMg-E

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 2, S. 58 – 60, 3 Bilder, 1Tafel, 19 Lit.

Die Nutzbarkeit der günstigen Eigenschaften des vorgestellten Stromschienenwerkstoffes AlFeMg-E ist gebunden an die Einhaltung der Empfehlungen betreffend Transport, Lagerung, spanende Bearbeitung, Biegen, Kontaktflächenbehandlung und die Anschluß- und Verbindungstechnik. Die Hinweise sind von besonderem Interesse für den Praktiker im Montage- und Instandhaltungsbereich.

Beckert, U.; Neuber, W.

Digitales Schlupfmeßgerät für die Antriebstechnik

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 2, S. 61 – 62, 4 Bilder, 11 Gln., 2 Lit.

Am Beispiel der Messung des Schlupfes eines Asynchronmotors wird ein neues digitales Schlupfmeßverfahren und ein Schlupfmeßgerät beschrieben. Es erfordert nur einen einfachen Impulsgeber mit einer Marke und zeichnet sich durch hohe Genauigkeit (0,01 %) und kurze Meßzeit bei niedrigem Bauelementeaufwand aus.

ELEKTRIE

Herausgeber	Kammer der Technik, Fachverband Elektrotechnik
Verlag	VEB Verlag Technik Oranienburger Str. 13/14, Berlin, DDR, 1020 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 2870 0; Telex: 0112228 techn. dd
Verlagsdirektor	Dipl.-Ing. *Klaus Hieronimus*
Redaktion	Dr.-Ing. *Klaus Heide*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870345) Ing. *Günther Barth*, Redakteur (Telefon 2870343)
Lizenz-Nr.	1100 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
Gesamtherstellung	III/18/328 Messedruck Leipzig, Bereich Borsdorf Borsdorf, 7122
Gestalter	*Eckardt Natorp* (Telefon 2870287)
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigenannahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, Oranienburger Str. 13/14, Berlin, 1020 PSF 201 Anzeigenpreisliste Nr. 7 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, Hermann-Duncker-Str. 89, Berlin, DDR, 1157
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
AN (EDV)	6730
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	2,50 M, Abonnementpreis vierteljährlich 7,50 M. Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Bezugsmöglichkeiten DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R. E. P., 11a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P. O. Box 88 Beijing
ČSSR	PNS – Ústřédni Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Slezská 11, 120000 Praha 2 PNS, Ústredna Expedicia a Dovoz Tlače Praha, Posta 022, 88547 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzéće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio, Exterior de Publicationes, O'Reilly No., 407, Ciudad Habana
VR Polen	C. K. P. i. W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
SR Rumänien	D. E. P. Bucaresti Piata Scintcii, Bucaresti
UdSSR	Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Ungarische VR	P. K. H. I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P. O. Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA 32, Hai Ba Trung, Hà Nôi
BRD und Berlin (West)	ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141 – 167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co, KG, Industriestraße B 13, 2345 Brunn am Gebirge
Schweiz	Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Fachbuchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, Leipzig, DDR, 7010, Postfach 160; und Leipzig Book Service, Talstraße 29, Leipzig, DDR, 7010

NEUERSCHEINUNG

Von Prof. Dr.-Ing. Manfred Kahle.
360 Seiten, 311 Bilder, 30 Tafeln, Leinen,
DDR 36,– M, Ausland 56,– DM.
Bestellangaben: 5538947/Kahle, Isoliertechnik

Das Fachbuch behandelt die Aufgaben der elektrischen Isoliertechnik, stellt die Beanspruchung der Isolierstoffe dem Isoliervermögen gegenüber, bringt weiterhin Ausführungen zur Diagnose des Isoliervermögens sowie zum Schutz der Isolierstoffe und führt schließlich zu Fragen der Auslegung und Konstruktion von Isolierungen.
Dabei wird prinzipiell nicht von bestimmten Erzeugnissen, sondern von Isolierprinzipien mit typischen Auslegungen und konstruktiven Gemeinsamkeiten ausgegangen.

Hauptabschnitte des Buches:

Aufgaben und Bedeutung der elektrischen Isoliertechnik für elektrotechnische und Verfahren · Belastung von Isolierungen und Beanspruchung der Isolierstoffe · Isoliervermögen von Isolierungen und deren Einflußgrößen · Schutz der Isolierung und Diagnose des Isoliervermögens · Auslegung, Konstruktion und Technologie von elektrischen Isolierungen.

Auslieferung in diesen Tagen durch den Fachbuchhandel

VEB Verlag Technik Berlin

Konsultationszentren *(s. S. 44)*

Konsultationszentrum für elektrische Antriebstechnik des Werkzeug- und Verarbeitungsmaschinenbaus

Leiter:
Prof. Dr. sc. techn. Dr. h. c. *P.-K. Budig*
Adresse:
Technische Universität Karl-Marx-Stadt
Sektion Automatisierungstechnik
PSF 964
Karl-Marx-Stadt
9010
Telefon: 561 33 23
Telex: 75061-230 oder 231

Konsultationszentrum für elektrische Antriebe des Schwermaschinen- und Anlagenbaus

Leiter:
Prof. Dr. sc. techn. *J. Vogel*
Adresse:
Technische Hochschule „Otto von Guericke"
Magdeburg
PSF 124
Magdeburg
3010
Telefon: 59 20
Telex: 82 14

Konsultationszentrum für elektrische Antriebe des Berg- und Hüttenwesens

Leiter:
Prof. Dr.-Ing. habil. *W. Stock*
Adresse:
Bergakademie Freiberg
Sektion Maschinen- und Energietechnik
Akademiestr. 6
Freiberg
9200
Telefon: 51 29 20
Telex: 07 85 35

Nach Abschluß des 8. Symposiums Elektromaschinenbau, das im September 1988 unter dem Motto „Kleinantriebe für die Automatisierungs- und Heimtechnik" in Leipzig stattfand [2], berieten die KDT-Aktive der Hersteller- und Anwenderkombinate mit Hochschulen über die Bereitstellung einer Konsultationskapazität für die Realisierung von elektrischen Kleinantrieben. Drei Gremien in der DDR erwiesen sich für diese Funktion als besonders geeignet:

- der KDT-Fachunterausschuß 5.5. Kleinmaschinen
- die „Komplexe Forschungsaufgabe rechnergesteuerte Kleinantriebe" der Technischen Hochschule Ilmenau
- die Ingenieurschule „Hanno Günther" Velten-Hohenschöpping.

Im Ergebnis der Beratungen des 8. Symposiums bietet sich in erster Linie an:

Konsultationszentrum für elektrische Kleinantriebe

Leiter:
Dipl.-Ing. *Hartung*
Adresse:
Ingenieurschule für Elektrotechnik
„Hanno Günther"
Berliner Str. 10
Velten-Hohenschöpping
1420
Telefon: 23 97
Telex: 15 85 59

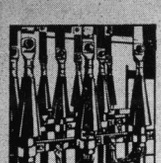
Literatur

[1] *Reiche, H.:* Forschung für den Elektromaschinenbau. ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 5, S. 173 und 176
[2] *Reiche, H.:* Komplexe Verantwortung für Kleinmotoren. ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 8, S. 283

ISSN 0013—5399
ELEKTRIE · Berlin 43 (1989) 2 · S. 41—80

0730 2 177 927 465
KOMB KERAM WERKE
8612 7001 0136 PF 1

Die richtigen Kabel für Sie!



Zur sicheren und ökonomischen Energie-, Nachrichten- und Datenübertragung. Nach internationalen Standards und Ihren speziellen Wünschen.
Vom feinsten Kupferlackdraht über moderne Mittelspannungs-VPE-Kabel bis zu Hochspannungskabeln, vom Schaltdraht bis zum koaxialen Trägerfrequenz- und Lichtwellenleiterkabel, vom Hochfrequenz-Sende- bis zum Empfangskabel mit den dazugehörigen Garnituren produzieren wir komplette Sortimente. Approbationen liegen vor.
Wir bieten jahrzehntelange Erfahrungen und technisches Know-how, beraten Sie bei der Lösung Ihrer Anderwenderprobleme, vergeben Lizenzen.
Wir übernehmen die Projektierung, Lieferung und Chefmontage kompletter Kabelanlagen, die Unterweisung der Anwendermonteure sowie Ausbildung Ihrer Arbeitskräfte für die Montage und die Instandhaltung kabeltechnischer Anlagen.

Wir sind auf allen wichtigen internationalen Messen und Fachausstellungen vertreten. Zu den Leipziger Messen erreichen Sie uns in Halle 18 bzw. 22

Kombinat
VEB KABELWERK OBERSPREE (KWO)
"Wilhelm Pieck"
Wilhelminenhofstr. 76/77
DDR–Berlin
1160

KWO

Exporteur:

Elektrotechnik
EXPORT-IMPORT
VOLKSEIGENER AUSSENHANDELSBETRIEB
DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK
DDR-1026 BERLIN, ALEXANDERPLATZ
HAUS DER ELEKTROINDUSTRIE

KWO - weltweit kontaktbereit